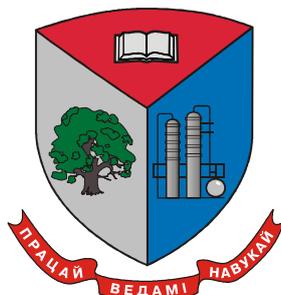


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»



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

15–20 апреля 2019 г.

**СБОРНИК НАУЧНЫХ РАБОТ**

В 4-х частях

Часть 2

Минск 2019

УДК 005.745:378.6](476)(06)  
ББК 66.75

**70-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов:** сб. науч. работ : в 4-х ч. – Минск, 15–20 апреля 2019 г. [Электронный ресурс] – Минск : БГТУ, 2019. – Ч. 2. – 564 с.

Сборник научных работ студентов и магистрантов университета составлен по итогам 70-й студенческой научно-технической конференции Белорусского государственного технологического университета, проведенной с 15 по 20 апреля 2019 г. На конференции было заслушано 1826 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

профессор кафедры 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.техн.наук

О.В. Стасевич

доцент кафедры пром.экологии, канд.техн.наук

О.С. Залыгина

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2019

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Дормешкин О.Б.	проректор по научной работе (председатель)
Сакович А.А.	проректор по учебной работе (зам. председателя)
Каврус И.В.	начальник НИЧ
Черник Е.О.	зав. сектором ИВОНД
Сильванович А.В.	инженер 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, доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции
Залыгина О.С.	ответственная за НИРС факультета ХТиТ, канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной экологии
Усевич В.А.	ответственная за НИРС факультета ИЭ, старший преподаватель 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 кафедры высшей математики
Тишкевич И.А.	методист учебно-методического отдела, ответственная по работе с колледжами

**Секция  
ТЕХНОЛОГИИ  
ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

УДК 351.777

Студ. Ю.В. Пашинская, И.А. Соловьёва

Науч. рук. ст. преп. М.В. Балакир

(кафедра безопасности жизнедеятельности, БГТУ)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ МИКРООРГАНИЗМАМИ**

Воздух – среда, содержащая значительное количество микроорганизмов. Особенно много бактерий находится в воздухе помещений, где неизбежно массовое хождение людей [1].

Микрофлора воздуха закрытых помещений более однообразна и относительно стабильна. Среди микроорганизмов доминируют обитатели носоглотки человека, в том числе патогенные виды, попадающие в воздух при кашле, чихании или разговоре. Основным источником загрязнения воздуха патогенными видами – бактерионосителями.

Бактерии – хорошо изученная, обширная группа одноклеточных микроорганизмов, широко распространенная в природе. По форме клеток классифицируются: на шаровидные – кокки, палочковидные – бациллы и бактерии, извитые – вибрионы и спириллы. Между группами имеются многочисленные и часто невидные переходы [2].

Основными методами, определяющими бактериальную обсемененность воздуха, являются: седиментационный и аспирационный методы.

Седиментационный метод основан на способности микроорганизмов в силу тяжести и под влиянием движения воздуха вместе с частицами пыли и капельками воды оседать на поверхность питательной среды. Этот метод позволяет иметь лишь ориентированное представление о содержании микрофлоры в воздухе.

Аспирационный метод основан на принудительном осаждении микроорганизмов из воздуха на поверхность питательной среды или в улавливающую жидкость [3].

Объект исследования – микрофлора воздуха БГТУ 4 корпус г. Минска. Пробы брались в туалете на втором этаже, гардеробе, студенческой столовой, аудитории 320 и около главного входа. Для эксперимента использовали седиментационный метод, предложенный Кохом.

Стерильные чашки Петри с питательной средой открывались в исследуемом помещении на 15 минут. После этого чашки выдерживали в помещении при комнатной температуре несколько суток.

Для определения степени загрязнения воздуха микроорганизмы подсчитывались на чашках Петри, с учетом даже мелких колоний. Полученное число колоний делилось на время выдержки в минутах и умножилось на 7644 (коэффициент пересчета площади чашки Петри

на 1 м<sup>2</sup>). Полученные результаты (таблица 2) сравнивались с нормой, приведенной в таблице 1.

**Таблица 1 – Критерии для санитарной оценки воздуха жилых помещений (число микроорганизмов в 1 м<sup>3</sup> по А. И. Шафиру)**

Оценка воздуха	Летний режим	Зимний режим
чистый	менее 1500	менее 4500
грязный	более 2500	более 7000

**Таблица 2 – Загрязненность воздуха в помещении университета (число микроорганизмов в 1 м<sup>3</sup> по А. И. Шафиру)**

Помещение	Утро	День	Вечер
туалет	0	509,6	3057,6+1 большая колония аспергилла
аудитория 320	509,6	0	1019,2
главный вход	аспергилл (две большие колонии на чашку Петри)	аспергилл – 3567,2 (7 небольших колоний на чашку Петри)	0
столовая	1528,8	1019,2 + аспергилл — 509,6 (1 маленькая колония на чашку Петри)	0
гардероб	1528,8	2038,4 + аспергилл — 509,61 маленькая колония на чашку Петри)	0

Результаты по исследованию загрязнения воздуха в помещении по летнему режиму: туалет, столовая, поточная аудитория утро – воздух чистый, содержание менее 1500 шт./м<sup>3</sup>. Гардероб утром – 1528,8 шт./м<sup>3</sup>, что свидетельствует о незначительном превышении нормы числа микроорганизмов на м<sup>3</sup> воздуха по Шафиру, однако позволяет сделать вывод, что воздух грязный. Около главного входа наблюдается большое черное пятно, которое классифицировалось как аспергилл – плесневый аэробный грибок. Колонии имеют характерную коричневую, шоколадную или черную окраску. В быту встречается в сильно увлажненных помещениях, почве, книгах, плиточных швах, стиральных машинах. Также он хорошо переносится при помощи одежды. Предположительно наличие черного аспергилла связано именно с распространением его при помощи пальто, курток.

Днем воздух относится к чистому в аудитории 320, туалете. В пробах, взятых в столовой колоний бактерий содержится допустимое количество, но там тоже присутствует небольшая колония аспергиллов. То же самое наблюдается в пробах, взятых в гардеробе и около главного входа.

Вечером аспергиллы и колонии бактерий, превышающие норму чистого воздуха, выросли в пробе с женского туалета на втором этаже. В остальных местах колонии не превышают норму, аспергиллы отсутствуют. Видимо, пробы брались уже после проведения влажной уборки.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что воздух помещений университета соответствует рекомендуемым нормам для санитарной оценки воздуха. Утром до занятий воздух помещений чище, чем после. Самый чистый воздух утром, самый грязный – вечером в туалете на втором этаже и у главного входа.

Рост плесневых грибов наблюдается в местах, где студенты и преподаватели ходят в верхней одежде чаще всего или оставляют её на хранение.

Стоит учитывать, что определение общей бактериальной загрязненности воздуха предполагало только определение общего числа бактерий, поэтому по результатам исследования нельзя однозначно судить о присутствии в воздухе помещений патогенных бактерий. Однако высокое микробное число в конкретных местах свидетельствует об общей бактериологической загрязненности воздуха и о высокой вероятности наличия патогенных бактерий.

Для уменьшения риска заражения приведены некоторые рекомендации для работников университета:

- регулярные влажные уборки с использованием бактерицидных веществ;
- проветривание помещения, согласно рекомендуемой продолжительности проветривания учебных помещений;
- озеленение помещения растениями-антисептиками, так как растения образуют фитонциды, убивающие или подавляющие рост и развитие бактерий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. «Анализ микрофлоры воздуха в помещении» [Электронный ресурс]: <https://infopedia.su/4x7896.html> — Режим доступа: 13.04.2019.
2. «Бактерии» [Электронный ресурс]: <https://biouroki.ru/material/plants/bakterii>. - Режим доступа: 13.04.2019.
3. «Обсемененности воздуха» [Электронный ресурс]: <https://mylektsii.ru/10-12994.html> - Режим доступа: 13.04.2019.

УДК 676.014.44:676.024.74

Магистранты Я.В. Боркина, П.А. Липницкий  
Науч. рук. зав. кафедрой ХПД В.Л. Флейшер  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА КАНИФОЛЬНОЙ КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПРОКЛЕЙКИ БУМАГИ**

**Введение.** Проклеивающие вещества применяются для придания бумаге и картону необходимой степени гидрофобности. Существующие публикации свидетельствуют о том, что вещества, имеющие в своем составе смоляные кислоты, обладают гидрофобными свойствами [1]. Вещества, имеющие аминные и амидные группы, способны образовывать прочные водородные связи с целлюлозными волокнами, благодаря чему они находят широкое применение в качестве упрочняющих добавок при производстве бумаги и картона на основе вторичного целлюлозного сырья. Чаще всего, используются полиамиды, в частности полиакриламид, и полиаминоамиды [2]. Реакционноспособные амино- и амидогруппы в составе клеевых композиций способствуют связеобразованию волокно-к-волокну, а присутствие остатков смоляных кислот способствует гидрофобизации бумажного волокна [3].

Цель работы – разработка методики синтеза канифольной клеевой композиции, обладающей проклеивающими и упрочняющими свойствами.

**Экспериментальная часть.** Синтез канифольной клеевой композиции осуществляли поликонденсацией адипиновой кислоты с диэтилентриамином и малеинизированной канифолью.

Процесс проводили в 3 стадии.

Стадия 1. В трехгорлую колбу, снабженную механической мешалкой, термометром, ловушкой Дина-Старка и прямым холодильником, помещали необходимое количество диэтилентриамин и при постоянном перемешивании порциями загружали адипиновую кислоту. Реакцию проводили при температуре 145–160°C в течение 3 ч.

Стадия 2. К полученному полимеру при постоянном перемешивании добавляли необходимое количество малеинизированной канифоли. второй стадии конденсации составляла 3 ч при температуре 160°C.

Стадия 3. Далее температуру реакционной массы снижали до 130–140°C и добавляли расчетное количество 5%-ного раствора гидроксида натрия. Продолжительность третьей стадии составляла около 1–1,5 ч, температура - 90–100°C. По данной методике было получено 5 продуктов с различными мольными соотношениями реагентов, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Мольные соотношения реагентов в исследуемых образцах

Номер образца	Соотношение реагентов, моль			Количество NaOH в пересчете на сухую щелочь, моль
	ДЭТА	адипиновая кислота	малеинизированная канифоль	
1	1	1	0,15	0,20
2	1	1	0,20	0,15
3	1	1	0,20	0,12
4	1	1	0,40	0,24
5	1	1	0,40	0,29

В результате были получены продукты коричневого цвета, вязкой консистенции, хорошо растворимые в воде с образованием устойчивой пены. Для всех продуктов были определены физико-химические показатели качества, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели полученных продуктов

Номер образца	Кислотное число, мг КОН/г	Количество сухих веществ, %	Количество свободных смоляных кислот, %	pH (0,1%-ного раствора)
1	25,75	56,25	21,96	9,68
2	8,29	68,97	7,92	8,99
3	9,01	85,00	15,96	8,68
4	13,59	26,49	76,06	8,42
5	10,53	26,84	36,65	9,07

Для оценки эффективности действия полученных продуктов были изготовлены образцы бумаги. При введении в волокнистую суспензию использовали 0,1%-ные водные растворы клеевых композиций.

В качестве волокнистого сырья использовали листовенную целлюлозу. Подготовку волокнистой суспензии осуществляли следующим образом. Готовили 1%-ную волокнистую суспензию путем роспуска и размолла модельной целлюлозы. Роспуск целлюлозы осуществляли в дезинтеграторе марки БМ-3. Продолжительность процесса роспуска составляла 10 мин. После этого распущенную массу переносили в ванну лабораторного ролла, в которой производили ее размол до степени помола 40–50°ШР. оемкостью 60 г/м<sup>2</sup> получали по стандартной методике на листоотливном аппарате Rapid-Ketten (фирма Ernst Haage, Германия). Для сравнения использовали образцы бумаги без введения химических веществ и с добавлением 0,1%-ного раствора димера алкилкетена (АКД).

Далее производили испытания образцов бумаги, гидрофобные свойства которых характеризовались впитываемостью при одностороннем смачивании, а прочностные – разрывной длиной и влагопрочностью. На основании физико-механических испытаний образцов бумаги с композициями №№1–3 было установлено, что данные продукты не отвечают предъявляемым к ним требованиям.

Для определения оптимального значения рН, при котором наблюдается коагуляция частиц клеевой композиции и осуществляется их фиксация на волокнах целлюлозы, были изготовлены образцы бумаги с различными значениями рН среды. Корректировку рН среды осуществляли добавлением сернокислого алюминия в виде 5%-ного раствора (рН=3,23). Расход АКД составлял 0,136% от а. с. в. (по данным целлюлозно-бумажных предприятий), расход канифольной клеевой композиции был выбран 1,5% от а. с. в. (При этом сернокислый алюминий, в первую очередь, вступает в обменную реакцию с резина-том натрия.) На основании полученных результатов (таблица 3), а также микрофотографий волокнистой суспензии с клеевой композицией при различных значениях рН (сделанных при помощи электронного микроскопа и программного обеспечения Optika Vision Pro), сделано предположение, что для клеевой композиции №4 оптимальным значением рН является 5,5; для клеевой композиции №5 – 4,0.

Таблица 3 – Свойства образцов бумаги

Состав	рН среды	Свойства образцов бумаги		
		впитываемость, г/м <sup>2</sup>	влагопрочность, %	разрывная длина, км
Целлюлоза (Ц)	7,7	66,50	1,79	8,55
Ц + АКД	7,9	55,64	2,60	8,1
Ц + КК №4 + Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	5,0	14,17	22,46	5,95
	6,0	21,06	11,56	6,23
	7,0	20,84	10,01	6,6
Ц + КК №5 + Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	5,0	39,85	13,81	6,8
	6,0	47,41	5,22	7,8
	7,0	33,48	9,51	6,5

Далее были получены образцы бумаги с введением в их структуру композиций №4 и №5. Расход клеев изменяли от 0,136 до 1,5% от а. с. в. В качестве коагулянта использовали сернокислый алюминий. Результаты физико-механических испытаний образцов бумаги представлены в таблице 4.

**Выводы.** Как видно из таблицы 4, выбранные значения рН среды не позволяют достигнуть поставленной цели, а именно проклейки бу-

маги. Однако можно считать перспективным использование данных продуктов в качестве упрочняющих добавок. Причем при использовании канифольной композиции №5 прослеживается тенденция к увеличению влагопрочности бумаги с увеличением расхода клея.

Таблица 4 – Свойства и показатели качества образцов бумаги

Состав	Свойства образцов бумаги		Показатели качества образцов бумаги		
	расход клеевой композиции (КК), % от а. с. в.	рН среды	впитываемость, г/м <sup>2</sup>	влагопрочность, %	разрывная длина, км
Целлюлоза (Ц)		7,7	75,23	1,89	8,49
Ц + АКД	0,136	7,9	68,29	2,30	8,80
Ц + КК №4 + Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,136	5,5	73,50	5,15	8,61
	0,25		80,52	2,84	7,95
	0,5		43,31	6,17	8,51
	1,0		52,61	8,57	7,08
	1,5		50,79	4,77	7,43
Ц + КК №5 + Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,136	4,0	73,34	10,18	7,62
	0,25		67,53	9,56	6,71
	0,5		68,89	11,48	7,73
	1,0		73,21	12,70	5,56
	1,5		52,23	16,17	4,60

## ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование устойчивости растворов полиамидной смолы на основе янтарной кислоты и диэтиленамина, модифицированной аминоамидами смоляных кислот канифоли / М.В. Андрюхова, В.Л. Флейшер // Труды БГТУ. Серия 2. – 2017. – №1. – С. 64–67.
2. Синтез и свойства продукта взаимодействия канифоли и диэтилентриамина / В.Л. Флейшер, М.В. Андрюхова, Д.С. Макарова // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2013. – №4. – С. 156–158.
3. Синтез новых полимеров на основе амидов смоляных кислот для упрочнения макулатурных видов бумаги / В.Л. Флейшер, Н.В. Черная, Д.С. Макарова, С.А. Гордейко, А.В. Гермась // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2014. – №4. – С. 134-136.

**СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ  
ГАЗЕТНОЙ БУМАГИ И ЕЕ МЕЛОВАНИЯ**

Газетная бумага (стандартная и легкомелованная) относится к высококачественным видам продукции. Объемы ее производства ежегодно возрастают из-за повышенного потребительского спроса на этот вид продукции. Эта тенденция характерна для многих предприятий, ориентированных на выпуск газетной бумаги без мелования (стандартная, массоемкость составляет 35–42 г/м<sup>2</sup>) и с мелованием (легкомелованная, массоемкость мелованного покрытия составляет 5–10 г/м<sup>2</sup>). За рубежом функционирует несколько крупных предприятий, ориентированных на выпуск газетной бумаги, а в Республике Беларусь – единственное – РУП «Завод газетной бумаги» (г. Шклов), полностью удовлетворяющее отечественный рынок. При этом часть отечественной продукции экспортируется в страны ближнего и дальнего зарубежья.

На РУП «Завод газетной бумаги» для получения газетной бумаги используется первичный волокнистый полуфабрикат – химико-термомеханическая масса (ТММ). Его получают непосредственно на предприятии из привозного древесного сырья и используют «жидким» потоком в технологии газетной бумаги. Качество газетной бумаги соответствует регламентируемым значениям. Однако до настоящего времени не рассматривался способ ее изготовления с частичной заменой первичного волокнистого полуфабриката (ТММ) на вторичный (более дешевый) – макулатуру.

Анализ научных публикаций и патентов свидетельствует о том, что полностью заменить ТММ на макулатуру не представляется возможным. Это связано с особенностями макулатурного сырья, негативно сказывающихся на качестве газетной бумаги. К этим особенностям относятся неоднородный фракционный состав и нестабильные бумагообразующие свойства. Однако при определенных условиях, когда, во-первых, осуществляется частичная замена ТММ и макулатуру и, во-вторых, в бумажную массу дополнительно целенаправленно вводят небольшие количества функциональных и процессных химических веществ, экономия первичного волокнистого полуфабриката (ТММ) представляется, по нашему мнению, возможной. В этом случае можно рассматривать экономию перерабатываемого привозного древесного сырья на ТММ и, следовательно, появляется возможность снижения себестоимости выпускаемой газетной бумаги.

Необходимость дополнительного использования функциональных химических веществ обусловлена тем, что неоднородный фракционный состав макулатуры и нестабильные ее бумагообразующие свойства можно устранить присутствием в бумажной массе упрочняющей добавки; ее расход должен быть таким, чтобы себестоимость бумаги, содержащей в своей композиции частично макулатурные волокна вместо части волокон ТММ, не превышала себестоимость бумаги, изготовленной из 100% ТММ. На отечественных бумажных и картонных предприятиях используют различные упрочняющие добавки, поставляемые в Республику Беларусь из-за рубежа. Все они являются полимерными соединениями и содержат аминные и/или амидные группы. Последние способны образовывать дополнительные межволоконные связи в структуре бумаги, что положительно отражается на ее прочности.

Поскольку в макулатурной массе присутствует больше мелких волокон (мельштоффа), чем в термомеханической массе, то для сокращения безвозвратных потерь перерабатываемого волокнистого сырья на сеточном столе бумагоделательной машины необходимо повышать степень удержания волокон в структуре газетной бумаги. Для этого целесообразно, по нашему мнению, применять полимерные соединения, оказывающие флокулирующее действие на бумажную массу. К перспективным соединениям, участвующим во флокуляционных процессах, относятся катионные полиэлектролиты, среди которых дешевым и доступным является полиакриламид (ПАА).

Поэтому проблема частичного использования макулатуры в технологии газетной бумаги является актуальной и представляет научный и практический интерес.

Цель исследования – разработать технологический режим экономии первичного волокнистого полуфабриката (термомеханической массы) за счет применения вторичного (макулатуры) при получении газетной бумаги (стандартной и легкомелованной).

Объектом исследования являлись образцы бумажных масс, отличающиеся композиционным составом по волокну (ТММ и макулатуры) и расходами применяемых функциональных (для процесса упрочнения) и процессных (для удержания мельштоффа за счет протекающего флокуляционного процесса) химических веществ, и полученные из них образцы газетной бумаги (стандартной и легкомелованной).

Предметом исследования являлись процессы упрочнения и флокуляции, протекающие в бумажных массах.

Работу проводили в два этапа.

На первом этапе сначала изготавливали образцы бумажных масс, содержащих 100 (образец сравнения), 90, 80 и 70% первичных волокон (ТММ) и 10, 20 и 30% вторичных волокон (макулатуры). В бумажные массы вводили упрочняющую добавку Hi-Cat (расход увеличивали от 0,1 до 1,0% от абсолютно сухого волокна) флокулянт ПАА (расход увеличивали от 0,01 до 0,8% от абсолютно сухого волокна). Затем из приготовленных бумажных масс на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten» (фирма «Ernst Naage», Германия) изготавливали образцы бумаги массой 40 г/м<sup>2</sup> в соответствии с прилагаемой к нему инструкцией. Качество полученных образцов бумаги (стандартных) оценивали по такому прочностному показателю, как разрывная длина; ее определяли на разрывной машине РМБ-30-2М по стандартной методике. Флокулирующее действие ПАА оценивали по содержанию взвешенных веществ в воде, поступающей в декельный ящик листоотливного аппарата «Rapid-Ketten».

На втором этапе работы осуществляли одно- и двухстороннее мелование изготовленных образцов бумаги. Рецептура меловальной пасты соответствовала составу, принятому на РУП «Завод газетной бумаги». В качестве пигментов использовали каолин (85 мас. ч.) и бланфикс (15 мас. ч.). В качестве связующих использовали натрий-карбоксиметилцеллюлозу, крахмал и синтетический каучуковый латекс. Их содержание в меловальной пасте было постоянным и соответствовало нормативам предприятия. Масса нанесенного мелованного покрытия была постоянной и составляла 5 г/м<sup>2</sup>. Качество образцов газетной бумаги (легкомелованной) оценивали по таким показателям, как белизна и стойкость поверхности к выщипыванию.

Результаты исследования, проведенные на первом этапе работы, показали, что в бумажной массе можно заменить 5–8% первичного волокнистого полуфабриката (ТММ) на аналогичное количество вторичного (макулатуру). При этом качество образцов газетной бумаги (стандартной) соответствовало регламентируемым значениям в тех случаях, когда бумажные массы содержали Hi-Cat и ПАА в количествах 0,3–0,6% и 0,02–0,04% соответственно. Разрывная длина образцов газетной бумаги (стандартной) находилась в пределах 2700–3300 м. При этом содержание взвешенных веществ, находящихся в воде декельного ящика листоотливного аппарата «Rapid-Ketten», не превышало уровня, когда изготавливали образцы сравнения (100% ТММ).

Результаты исследования, проведенные на втором этапе работы, свидетельствовали о том, что качество образцов газетной бумаги (легкомелованной) удовлетворяла регламентируемым значениям. При этом белизна и стойкость поверхности к выщипыванию испытанных

образцов бумаги находились в пределах 86–88% и 2,2–2,4 мм соответственно. Сопоставимые результаты для образцов бумаги, содержащих 5–8% вторичных волокнистых полуфабрикатов (макулатуры) вместо аналогичного количества первичных (ТММ), и образцов сравнения подтверждают выдвинутую нами гипотезу о возможности снижения себестоимости газетной бумаги (легкомелованной) за счет изменения ее композиционного состава по волокну.

Проведенные исследования являются предварительными с позиции совершенствования технологии газетной бумаги (стандартной и легкокомелованной) на основе замены импортных химических веществ на отечественные. В то же время на кафедре химической переработки древесины разработана «линейка» таких веществ, о целесообразности применения которых можно будет судить по результатам проведенных дальнейших исследований. Некоторые разработанные химические вещества можно использовать, по нашему мнению, в составе бумажных масс, а некоторые из них могут являться альтернативной заменой импортным связующим.

Следует отметить, что предлагаемые способы совершенствования технологии газетной бумаги (стандартной и легкокомелованной) основаны на использовании оборудования, функционирующего на РУП «Завод газетной бумаги», и имеющихся коммуникационных линий. Это свидетельствует об отсутствии необходимости проведения необходимой модернизации действующего производства и привлечения для этого дополнительных материальных средств.

Таким образом, к современным способам совершенствования технологии газетной бумаги и ее мелования относятся способы, направленные на улучшение ее качества и снижение себестоимости. Практическая реализация такого предлагаемого нами методологического подхода к технологии газетной бумаги (стандартной и легкокомелованной) позволит повысить не только конкурентоспособность отечественной продукции, выпускаемой в настоящее время на РУП «Завод газетной бумаги», но и ее экспортоориентированность. Получено, что качество образцов газетной бумаги (стандартной) соответствует регламентируемым значениям в тех случаях, когда в их бумажных массах заменено 5–8% первичных волокнистых полуфабрикатов (термомеханической массы) на более дешевые и доступные вторичные (макулатуру). Дополнительное присутствие в бумажных массах упрочняющей добавки Ni-Cat (расход 0,3–0,6%) и флокулянта ПАА (расход 0,02–0,04%) компенсирует недостатки макулатуры и не приводит к превышению себестоимости газетной бумаги – как стандартной, так и легкокомелованной.

УДК 630\*23:630\*160.27

Студ. С.А. Дашкевич

Науч. рук. доц. В.В. Носников

(кафедра лесных культур и почвоведения, БГТУ);

ст. науч. сотр. Е.П. Шишаков

(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

**ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ СО СВОЙСТВАМИ  
СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА ОСНОВЕ  
ЛИГНОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ И ПРИМЕНЕНИЕ  
ИХ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЕЯНЦЕВ  
ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД (ОБЗОР)**

Стимуляторы роста, применяемые при выращивании сеянцев древесных пород, активно применяют во всем мире с 30-х гг. XIX в. Наша страна не является исключением. В технологии выращивания лесных культур, как и в сельском хозяйстве, широко используют различные виды стимуляторов роста. Они представляют собой медленнодействующие минеральные удобрения (применяют с 1985 г.), различные субстраты (с 1985 г.), капсулированные удобрения с трехслойным покрытием (с 1987 г.) и гранулированные удобрения совместно с необходимыми для растений элементами питания (с 1990 г.). Последние позволили повысить урожайность в 1,5–2,0 раза, увеличить время растворения удобрений в 1,5 раза и сохранить 50% компонентов удобрений от их нерационального выноса в нижележащие слои почвы и в атмосферу.

К перспективным стимуляторам роста относятся *полимерные структурообразователи* (предотвращают ветровую и водную эрозию почвы, сохраняют плодородный слой, уменьшают вымывание неиспользованных растениями питательных веществ), *адсорбенты* и *специальные композиции* (обеспечивают сохранение влаги, поглощают излишнее количество влаги, препятствуют вымерзанию растений), *полимерные составы* (способны легко разрушаться под действием солнечного света, воды и микроорганизмов) и *супервдоадсорбенты* (В.А. Ипатьев, Республика Беларусь, 1994–1995 гг.).

Регуляторы роста применяют для предпосевной обработки семян (их намачивают в водных растворах органических или неорганических веществ) и внекорневой обработки сеянцев древесных пород. Эти два способа относятся к группе *химических* и отличаются от другого способа (опудривание семян) своей простотой. Среди *физических* способов заслуживают внимания такие способы, как температурная обработка, обработка ультразвуком, облучение (лазерное, ультрафиолетовое и др.) и насыщение водой в вакууме. *Механические* способы

включают дражирование семян (преимущественно в торфе), гранулирование, капсулирование и инкрустирование. *Комбинированные* способы основаны на последовательном использовании химических и физических методов.

Химическая обработка семян (их намачиванием) основана на применении водных растворов различных полимеров. Сущность этого способа заключается в том, что полимер должен, во-первых, обладать свойствами пленкообразователя, во-вторых, образовывать непроницаемую оболочку на поверхности семян, в-третьих, придавать поверхности семян водоотталкивающие (гидрофобизирующие) свойства и, в-четвертых, обеспечить защиту семян от вредителей и болезней. К существенным достоинствам таких стимуляторов роста относится возможность добавлять к полимерным растворам необходимые микроэлементы бора, меди, йода, цинка и другие полезные для растений соединения; такие добавки стимулируют у растений ростовые процессы, не приводят к существенным нарушениям саморегуляции растительных организмов, совместно со стимулятором повышают посевные качества долго хранившихся семян.

В последние годы отечественными и зарубежными учеными развивается перспективное направление, связанное с созданием стимуляторов роста совместно со связующими. Информация об этом представлена В. В. Копытковым в монографии [1]; обращают на себя внимание следующие композиции:

*композиция 1* «натрийкарбоксиметилцеллюлоза + экстракт торфа водный «черный доктор» + эпин + вода»;

*композиция 2* «натрийкарбоксиметилцеллюлоза + карбамидоформальдегидная смола + Топаз + Гумат-80»;

*композиция 3* «поливиниловый спирт + сапрпель + марганец сернокислый + вода».

Эти композиции содержат природные продукты (целлюлозу или сапрпель). При этом используемая целлюлоза является целевым продуктом, получаемым при химической переработке древесной щепы по сульфатному, сульфитному, бисульфитному, моносульфитному, натронному и другим способам; она является дорогостоящим компонентом, а дальнейшая ее модификация для получения на ее основе соединения в виде натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы приводит к удорожанию стимуляторов роста. Это сдерживает масштабирование таких материалов при лесовыращивании в целом и для сеянцев древесных пород в частности.

Важно отметить, что при химической переработке щепы (таблица 1), полученной из древесины хвойных и лиственных пород, в варочный раствор переходит лигнин (20–25% и более) и другие компоненты (минеральные и экстрактивные вещества, пентозаны, маннан, галактан и др.), освобождая от них целлюлозу – целевой продукт. Лигнин является побочным продуктом при получении целлюлозы.

**Таблица 1 – Химический состав древесины хвойных и лиственных пород, %**

Наименование компонента	Хвойные породы древесины	Лиственные породы древесины
Целлюлоза	46–53	36–47
Лигнин	25–30	21–23
Минеральные вещества	0,1–0,3	0,2–0,4
Экстрактивные вещества	2,3–6,7	1,3–7,5
Пентозаны	5,3–11,2	22,0–25,0
Маннан	6,1–8,8	менее 0,5
Галлактан	0,5–14,4	менее 1,5

Скорость и глубина процесса делигнификации зависят от условий процесса «варки» щепы, протекающего при температуре 140–170°C и давлении 8–10 Атм на протяжении 4–16 ч. Состав и крепость варочного раствора (сульфатного, сульфитного, бисульфитного, моносльфитного, натронного и др.) и определенные условия «варки» способствуют, как правило, полному или частичному удалению из древесной щепы лигнина и сопутствующих компонентов (минеральных и экстрактивных веществ, пентозанов, маннана галактана). Этому способствуют химические взаимодействия макромолекул лигнина с конкретными реакционноспособными группами ( $S^{2-}$ ,  $HS^-$ ,  $OH^-$ ,  $HSO_3^-$ ,  $SO_2$  и т. д.), присутствующими в варочном растворе, и разрушение (полное или частичное) их до мономеров и/или соединений с меньшей степенью полимеризации и молекулярной массой. Поэтому в древесной щепе остается преимущественно целлюлоза, что свидетельствует о завершении протекания процесса «варки», сопровождаемом удалением из нее лигнина благодаря протекающему процессу делигнификации. Образовавшиеся лигносодержащие продукты относятся к побочным соединениям. На их долю приходится 20–25% при «варке» хвойных пород древесины и 14–17% при «варке» лиственных пород.

В настоящее время нерешенной проблемой является проблема разносторонней утилизации лигносодержащих продуктов, количество которых ежегодно возрастает в связи с наращиванием мощностей целлюлозных заводов и, следовательно, с увеличением объемов химической переработки древесного сырья – хвойных и лиственных пород древесины. На сегодняшний день лигносодержащие продукты преимущественно сжигают для получения тепла, что позволяет частично

экономить уголь и природный газ.

Если рассматривать лигносодержащие продукты как компонент для дальнейшего получения на его основе других ценных материалов, востребованных в различных отраслях промышленности в целом и, по нашему мнению, при лесовыращивании семян древесных пород в частности, то их можно отнести к возобновляемой сырьевой базе. Этот факт имеет важное практическое значение. Кроме того, лигносодержащие продукты являются дешевыми и доступными.

На перспективность использования лигносодержащих продуктов для получения материалов со свойствами стимуляторов роста в растениеводстве обратили особое внимание в 2002 г. белорусские ученые [2].

Анализ научной литературы показал, что способы получения материалов со свойствами стимуляторов и регуляторов роста на основе лигносодержащих продуктов являются разнообразными. Имеющиеся немногочисленные публикации [3–6] свидетельствуют о том, что их можно получать из лигноцеллюлозных материалов [3], хвои ели [4], лигносодержащих продуктов (гидролизного лигнина, целлолигнина и лигносульфонатов) [5] или другого растительного сырья [6].

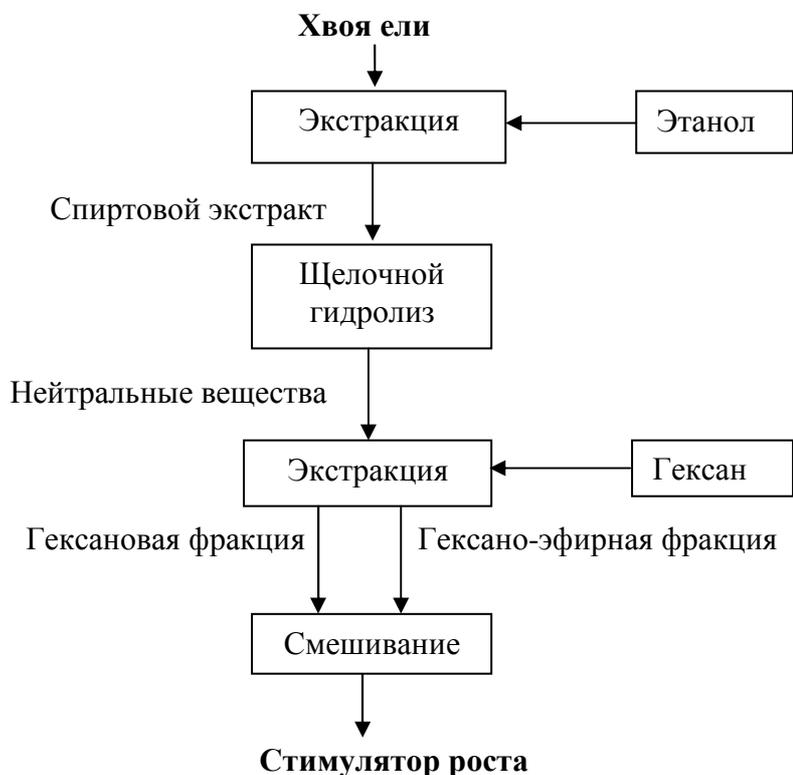
Лигноцеллюлозные материалы [3], к числу которых относятся древесная щепа и стружка хвойных растений, подвергают, как показано на рисунке 1, экстракции в присутствии водного раствора низшего алифатического спирта (НАС). Полученный экстракт содержит активные компоненты. Затем экстракт подвергают очистке для извлечения активных компонентов, оказывающих на растения действие стимулятора роста.



**Рисунок 1 – Схема получения стимулятора роста из лигноцеллюлозных материалов на основе протекающего процесса экстракции [3]**

Хвоя ели [4] содержит компоненты, обладающие стимулирующими свойствами. Получение средства с ростостимулирующими свойствами из хвои основано, как видно из рисунка 2, на экстракции хвои этанолом с последующим выделением из спиртового экстракта

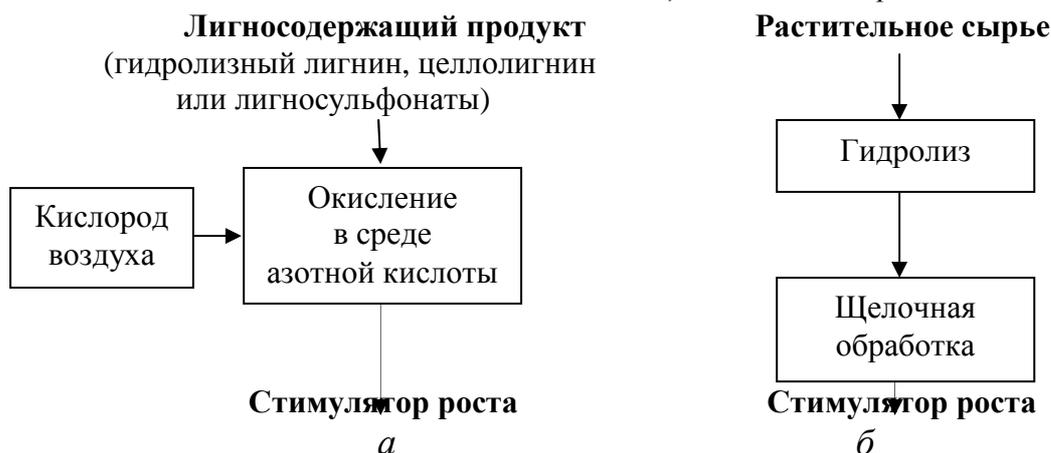
нейтральных веществ щелочным гидролизом, и экстракцию их гексаном. Сначала отбирают гексановую, а затем гексано-эфирную фракции; полученные фракции смешивают. Полученный продукт обладает одновременно ростостимулирующей, фунгицидной и бактерицидной активностью.



**Рисунок 2 – Схема получения стимулятора роста из хвои ели на основе протекающих процессов щелочного гидролиза и экстракции [4]**

Лигносодержащие продукты (гидролизный лигнин, целлолигнин и лигносульфонаты) авторы работы [5] предлагают окислять кислородом воздуха в среде азотной кислоты (рисунок 3, а), а авторы работы [6] предлагают проводить в растительном сырье, также содержащем лигнин, сначала гидролиз, а затем щелочную обработку (рисунок 3, б). Роль стимуляторов роста при выращивании семян древесных пород, как и для многих лесных культур, должна сводиться к обеспечению комплекса предъявляемых к ним требований. При лесовыращивании они:

- ускоряют всхожесть семян древесных семян;
- ускоряют рост лесопосадочного материала;
- улучшают качество семян древесных пород;
- повышают выход и приживаемость посадочного материала на лесокультурной площади.



**Рисунок 3 – Схема получения стимулятора роста из лигносодержащих продуктов на основе протекающих процессов окисления (*а*) по данным [5] и гидролиза (*б*) по данным [6]**

Таким образом, сопоставительный анализ литературных источников [1–6] свидетельствует о перспективности направления, связанного с получением материалов со свойствами стимуляторов роста на основе лигносодержащих продуктов и применением их при выращивании сеянцев древесных пород.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Копытков, В. В. Композиционные полимерные материалы при лесовыращивании / В. В. Копытков. – Минск: Белорус. наука, 2008. – 304 с.
2. Кебич, М. С. Проблема получения и использования регуляторов роста в растениеводстве (Обзор) / М. С. Кебич, Н. А. Зырина, Е. П. Шишаков, Н. Ю. Жабровская, Л. Ю. Малицкая // *Материалы. Технологии. Инструменты*, 2002. – Т. 7, № 4. – С. 48–53.
3. Патент 3033825, Япония. Способ отделения активных компонентов от хвойных растений, бактерицидный агент. А 01 N 65/00 // БИ (1986).
4. Патент 2154942, РФ. Способ получения средства защиты растений из хвои ели европейской (*Picea excels I.*). А 01 N 61/00 // БИ (1999).
5. Шишаков, Е. П. Использование отходов переработки древесины в сельском хозяйстве / Е. П. Шишаков, М. О. Шевчук, В. Л. Флейшер // *Инновационные разработки молодых ученых развитию агропромышленного комплекса : материалы III междунар. конф., сб. науч. трудов.* – ГНУ СНИИЖК, Ставрополь, 2014. – Т. 2. – Вып. 7. – С. 236–240.
6. Патент 970345, РБ. Способ получения регулятора роста растений. А 01 N 61/00 // БИ (2000), № 2(25).

УДК 676.014.44:676.2

Магистранты П.А. Липницкий, Я.В. Боркина  
Науч. рук. зав. каф. В.Л. Флейшер  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

## РАЗРАБОТКА СОСТАВА КЛЕЕВОЙ КАНИФОЛЬНОЙ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ ГИДРОФОБИЗАЦИИ БУМАГИ И КАРТОНА В НЕЙТРАЛЬНОЙ СРЕДЕ

**Введение.** Актуальным направлением в целлюлозно-бумажном производстве является создание универсальной высокоэффективной эмульсии для проклейки бумажных масс различного состава (целлюлозных, макулатурных и их смесей) и обладающей стабильными физико-химическими свойствами.

К перспективным решениям существующей проблемы относится способ, основанный на создании новой универсальной проклеивающей эмульсии на канифольной основе вместо импортных синтетических эмульсий «Fennosize KD 225 UP», «Ультрасайз-200» и «Флоусайз-200», используемых в Республике Беларусь, странах СНГ и за рубежом.

Имеющаяся в научных публикациях информация свидетельствует о большом разнообразии способов получения проклеивающих веществ на канифольной основе. Для модификации смоляных кислот применяют различные соединения (малеиновый ангидрид, диэтилен-триамин, этаноламин и др.). Однако известные синтезированные модифицированные канифольные продукты не являются универсальными для проклейки бумажных масс. Их эффективность зависит от дисперсности, электрокинетического потенциала, структуры и агрегативной устойчивости частиц дисперсной фазы. Отрицательным фактором является то, что последовательное введение в бумажные массы канифольной эмульсии и раствора электролита приводит к образованию крупнодисперсных разновеликих и разнопотенциальных проклеивающих комплексов, не способных равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности волокон (целлюлозных и макулатурных). Протекающий процесс проклейки в режиме гомотокоагуляции не позволяет повысить степень удержания проклеивающих комплексов в структуре бумаги и картона более 55%, что приводит к неоправданным их потерям (45% и более) за счет удаления с регистровой водой на стадии обезвоживания бумажных масс на сеточном столе бумаго- и картоноделательной машин.

Имеющиеся недостатки протекающего процесса проклейки, с одной стороны, диктуют необходимость увеличивать расход эмульсии для придания бумаге и картону требуемой степени гидрофобности и, с дру-

гой стороны, сопровождающаяся потерей прочности бумаги и картона на 12–15% вынуждает дополнительно вводить в бумажные массы упрочняющие вещества, что повышает себестоимость бумаги и картона.

Целью работы является разработка состава канифольной эмульсии для гидрофобизации бумаги и картона и изучение режима проклейки в нейтральной среде.

**Экспериментальная часть.** Процесс получения канифольной эмульсии состоял из 4 стадий:

– получение модификатора (продукт А), представляющего собой продукт взаимодействия смоляных кислот талловой канифоли с диэтилентриамином. В реактор помещали 80 мас. ч. канифоли и доводили температуру в нем до 140°C. Далее, при постоянном перемешивании в реактор вводили 26 мас. ч. диэтилентриамина. Температуру реакционной массы повышали до 190–195°C. Контроль за ходом реакции осуществляли путем отбора проб реакционной массы через 0,5 ч до достижения кислотного числа (КЧ) 80–85 мг КОН/г;

– получение малеинезированной талловой канифоли (продукт Б). В реактор загружали талловую канифоль 200 мас. ч. и доводили температуру в нем до 140°C. Затем, при непрерывном перемешивании добавляли 10 мас. ч. (5 мас. %) малеинового ангидрида. По окончании загрузки температуру реакционной смеси поднимали до 190–195°C и выдерживали при этой температуре в течение 2,0–2,5 ч до достижения КЧ не ниже 175 мг КОН/г;

– получение канифольной эмульсии. В реактор загружали 50 мас. ч. малеинезированной талловой канифоли и доводили температуру в нем до 140°C. После чего, в реактор вносили 50 мас. ч. модификатора. Содержимое реактора расплавляли и перемешивали в течение 1 ч при температуре 145–150°C до получения расплава гомогенной консистенции;

– частичная нейтрализация смоляных кислот канифольной эмульсии едким натром. В реактор, содержащий клеевую композицию, при температуре 90–95°C и непрерывном перемешивании вводили 12 мас. ч. 21%-ного раствора едкого натра, необходимого для нейтрализации 50–70% смоляных кислот. Процесс нейтрализации проводили в течение 1 ч.

Канифольная эмульсия должна обладать следующими физико-химическими свойствами: массовая доля сухих веществ – 40–50%; массовая доля свободных смоляных кислот не менее – 55%; рН (5%-ого раствора) – 8,0–10,0.

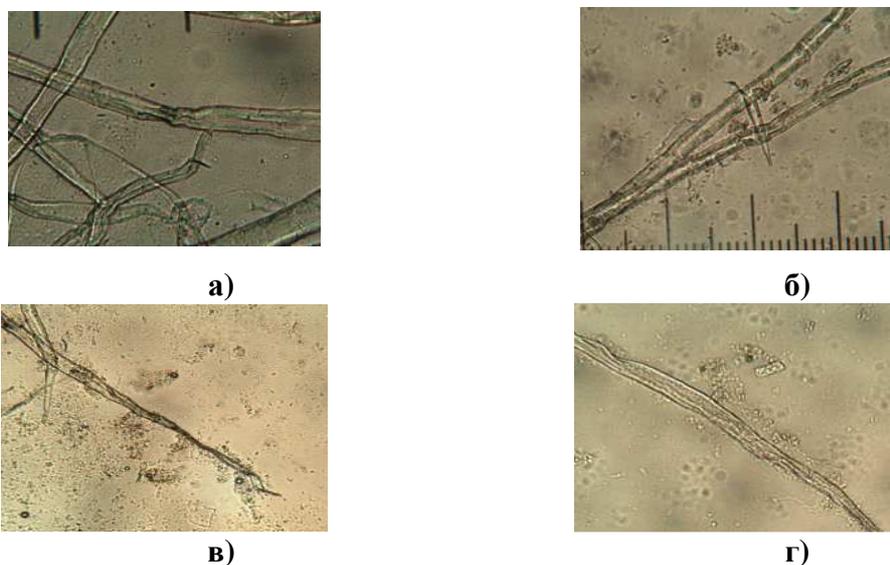
Для оценки эффективности разработанной канифольной эмульсии было проведено исследование влияния рН среды волокнистой

суспензии на показатели качества образцов клееных видов бумаги при рН: 8,2 (без добавления  $Al_2(SO_4)_3$ ); 7,0; 6,0; 5,0 (таблица 1). Образцы бумаги изготавливали по стандартной методике на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten». Расход канифольной эмульсии был принят 1,5% от а. с. в., для осаждения частиц эмульсии на волокне и доведения рН бумажной массы до необходимых значений использовали 5%-ный раствор  $Al_2(SO_4)_3$  (рН 3,2).

**Таблица 1 – Влияние рН среды волокнистой суспензии на показатели качества образцов бумаги**

Состав	рН	Расход проклеивающего в-ва, % от а.с.в.	Кобб <sub>30</sub> , г/м <sup>2</sup>	F <sub>с</sub> , Н	F <sub>в</sub> , Н	Влагопрочность, %	Разрывная длина, км
Целлюлоза (Ц)	7,9	0	75,2	68,3	1,2	1,9	8,5
Ц + крахмал +АКД	8,1	0,136	53,6	79,1	2,0	2,5	9,1
Ц + КЭ	8,2	1,5	82,0	62,2	0,9	1,4	6,7
Ц + КЭ + $Al_2(SO_4)_3$	7,0		20,4	70,0	4,6	6,5	8,3
	6,0		19,1	68,9	7,0	10,2	7,7
	5,0		17,7	58,3	6,3	10,8	6,6

Процесс осаждения канифольной эмульсии на волокнах суспензии при разных значениях рН среды представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Микрофотографии волокнистой суспензии, содержащей КЭ, при значениях рН:**

**а) 8,2 (x400); б) 6,8 (x200); в) 5,9 (x200); г) 5,0 (x200)**

При добавлении  $Al_2(SO_4)_3$  к волокнистой суспензии, содержащей канифольную эмульсию, наблюдалась коагуляция частиц дисперсной фазы и их осаждение на поверхности волокон целлюлозы. Снижение рН среды приводило к тому, что частицы начинали занимать большую

площадь поверхности целлюлозы, создавая гидрофобную пленку и оказывая тем самым эффект проклейки.

Уменьшение рН среды ниже 5,0 являлось причиной образования крупнодисперсных разновеликих и разнопотенциальных проклеивающих комплексов, что приводило к процессу расклейки за счет неоднородности распределения частиц по поверхности волокна целлюлозы.

Были получены образцы бумаги с расходами канифольной эмульсии: 0,136; 0,25; 0,5; 1,0 и 1,5% от а. с. в. и определены основные показатели качества (таблица 2). Определен минимальный расход клеевой композиции – 0,5% от а. с. в., при котором достигается заданная степень проклейки (впитываемость) – 30 г/м<sup>2</sup>.

**Таблица 2 – Показатели качества образцов бумаги**

Состав	Расход проклеивающего в-ва, % от а.с.в.	Кобб <sub>30</sub> , г/м <sup>2</sup>	F <sub>с</sub> , Н	F <sub>в</sub> , Н	Влагопрочность, %	Разрывная длина, км
Ц	0	75,2	68,3	1,2	1,9	8,5
Ц + крахмал +АКД	0,136	53,6	79,1	2,0	2,5	9,1
Ц + КЭ + Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,136	64,1	81,9	3,7	4,6	9,2
	0,25	67,0	78,1	3,6	4,6	8,9
	0,5	28,4	77,7	8,5	10,8	8,6
	1,0	23,1	74,4	7,2	9,7	8,2
	1,5	27,0	70,8	6,6	9,4	7,6

**Выводы.** Канифольная эмульсия должна обладать следующими физико-химическими свойствами: массовая доля сухих веществ – 40–50%; массовая доля свободных смоляных кислот, не менее – 55%; рН (5%-ого раствора) – 8,0–10,0.

Канифольная эмульсия обладает проклеивающими свойствами только в случае ее осаждения на волокне электролитом (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>). Максимальная степень проклейки бумаги достигается при доведении рН волокнистой суспензии электролитом до 5,0–5,5 при минимальном расходе канифольной эмульсии 0,5% от а. с. в.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛЬНЯНОЙ КОСТРЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время на территории Республики Беларусь работает 14 льноперерабатывающих предприятия. На этих предприятиях из тресты механическим способом получают льняное волокно для прядения. Для этого разрушаются пектиновые вещества, связывающие древесину и покровные ткани с волокнистыми пучками. На льнозаводе для отделения волокна от костры тресту подвергают механическому воздействию, осуществляя следующие операции. Мятье: тресту пропускают через рифленые вальцы, разрушая тем самым хрупкую древесину, но сохраняя эластичное волокно. Трепание: многократно ударяют по тресте лопастями бильных барабанов. Трясение: на трясилке удаляется осыпаящаяся костра.

Костра – одревесневшие части стеблей льна, получаемые при их первичной обработке. По внешнему виду она напоминает тонкий игольчатый сухостой, длиной до трех сантиметров. Выход костры при переработке тресты составляет 60–70%.

В Беларуси костру используют в основном как бесплатное топливо, сжигаемое на котельных льнозаводов. Однако следует иметь в виду, что только около 60–65% льняной костры сжигается в котельных, а остальная часть ее остается неиспользованной, скапливается на территориях предприятий и является источником пожароопасности и экологического загрязнения. Углубленная переработка льняной костры даст возможность приносить дополнительный доход и повысить, таким образом, эффективность отрасли. Цель работы является исследование физико-механических свойств композиционных плит на основе древесины и льняной костры [1]. Льняная костра и древесина состоят из трех основных компонентов: целлюлоза, лигнин и гемицеллюлозы. В таблице 1 приведено сравнение химического состава древесины и льна.

**Таблица 1 – Химический состав древесины и льняной костры**

Компонент	Содержание, %	
	льняная костра	древесина
Целлюлоза	38–40	45–55
Лигнин	23–24	21–28
Гемицеллюлозы	14–15	15–25
Минеральные вещества	2–3	0,1–1,0

Как видно из таблицы 1, льняная костра по химическому строению сходна с древесиной, она содержит много стойких химических соединений, поэтому может склеиваться с применением клеев на основе традиционных смол, применяемых в деревообработке.

В технологии изготовления древесно-стружечных плит важное значение имеет размер частиц и их форма. Фракционный состав древесной стружки для внутреннего слоя и льняной костры представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фракционный состав древесной стружки и льняной костры

Как видно из рисунка 1, частицы льняной костры образуют фракцию, пригодную для использования в плитном производстве без дополнительной обработки.

В лабораторных условиях были изготовлены образцы однослойных плитных материалов из древесной стружки (100%), льняной костры (100%) и смеси древесной стружки (50%) и льняной костры (50%). Для изготовления образцов однослойной плиты использовали карбамидоформальдегидную смолу марки КФС-110П с расходом 12%. В качестве отвердителя смолы использовали сульфат аммония (расход 1%). Прессование однослойных плит проводили с использованием горячего пресса при температуре 180°C [2]. Циклограмма прессования представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Циклограмма прессования

Полученные плиты кондиционировали в течение двух суток. После этого проводили их испытания на физико-механические свойства (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение показателей качества плит

Показатели	Композиционный состав		
	древесина 100%	древесина 50% льняная костра 50%	льняная костра 100%
Плотность	553,5	555,9	523,7
Разбухание, %	18,2	15,3	14,2
Предел прочности при изгибе, МПа	7,5	7,8	5,1

Как видно из таблицы 2, полученные плиты из льняной костры обладают более низкими гидрофобными свойствами, что обусловлено пониженным содержанием углеводной части, которая и придает гидрофильность материалу, и наличием изолированной водонепроницаемой кутикулы. Наибольшую прочность имеет образец плиты, полученный из смеси древесной стружки и льняной костры, что обусловлено низкой твердостью костры. Это позволило образовать сомкнутую структуру за счет более полного прилегания частиц друг к другу, что подтверждается максимальной плотностью образца. Необходимо отметить, что незначительная толщина отдельных частиц льняной костры позволила получить плиты с повышенной гладкостью поверхности без дополнительной обработки по сравнению с плитами из древесной стружки. Но использование в композиции для получения плитных материалов только льняной костры снижает предел прочности при изгибе на 32%, что ограничивает сферу их применения. Например, такие плиты могут быть использованы в качестве теплоизоляционного материала, где не требуются высокие прочностные показатели материала. Таким образом, применение льняной костры для плитных материалов позволит повысить их гидрофобности и снизит себестоимость продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование технологий производства и переработки льна-долгунца и льна масличного. / П.П. Казакевич, И.И. Карпунин, И.А. Голуб, В.И. Карпунин. – Минск: Белорусская наука. – 2016. – 184 с.
2. Соловьева, Т.В. Технология древесноволокнистых плит, древесностружечных плит, технология композиционных материалов и пластиков. Лабораторный практикум. / Т.В. Соловьева, А.А. Пенкин. – Минск: БГТУ, 2009. – 144 с.

УДК 665.585.54

Студ. Н.А. Воронько

Науч. рук. ассист. М.В. Андриюхова

(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

## **АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ В СОСТАВЕ ЖИДКОГО МЫЛА**

Антибактериальные гигиенические средства – продукты (мыло жидкое и твердое; шампуни; гели для тела и интимной гигиены; дезодоранты; зубные пасты; ополаскиватели для полости рта; влажные салфетки), содержащие в своем составе вещества, являющиеся антибактериальными агентами [1].

Одним из самых распространённых антибактериальных гигиенических средств является жидкое антибактериальное мыло. Это связано, в первую очередь, с тем, что оно пользуется большим спросом в местах большого скопления людей, где необходимо серьезно подходить к чистоте и гигиеническим процедурам, антисептический агент. По механизму действия антимикробные добавки можно разделить на 2 группы – *микробиостатические* и *микробиоцидные*. В зависимости от происхождения они классифицируются на *природные*, *полусинтетические* и *синтетические*.

По химическому строению антисептические добавки распределяются по классам химических соединений, к которым они относятся, что отражает механизм их действия: одни из них осаждают белок, из которого в основном состоят клеточные мембраны бактерий; другие вызывают гибель бактерий, проникая внутрь их клеток и воздействуя на их плазму; третьи создают неблагоприятные условия для роста бактерий и их размножение [2]. Основные требования, предъявляемые к антисептикам, применяемым в косметике: безвредность для кожи и организма; сохранение силы действия при соприкосновении с живыми тканями; максимальная длительность действия; отсутствие раздражающего действия на живые ткани [3]. Для использования в жидком мыле представляют особый интерес салициловая кислота, борно-салициловая кислота, бензойная кислота, бензиловый спирт, тимол, фурациллин, хлоргексидина биглюконат и др.

*Салициловая кислота* ( $C_6H_4(OH)COOH$ ) используется как антисептическое средство при разных сыпях и трещинах на коже (1%). При смешении растворов из 2 частей салициловой и 1 части борной кислоты получается борно-салициловая кислота, служащая прекрасным антисептическим средством, во много раз превосходящим по действию борную и салициловые кислоты, взятые по отдельности.

Также эффективно сочетание салициловой кислоты с бензиловым спиртом (хороший консервант).

*Борная (орто-борная) кислота ( $H_3BO_3$ )* проявляет бактериостатическое действие при использовании ее 2–4%-ных водных и спирто-водных растворов.

*Бензойная кислота ( $C_6H_5COOH$ )* оказывает сильное антисептическое средство и действует значительно сильнее, чем салициловая кислота. В косметические препараты вводится до 1%.

*Бензиловый спирт ( $C_7H_8O$ )* – антисептическое средство, значительно превосходящее фенол, но не ядовитое. Физиологически безупречен. Антисептическое действие бензинового спирта усиливается в сочетании с борно-салициловой кислотой.

*Тимол ( $C_6H_3CH_3C_3H_7OH$ )* – хорошее противогнилостное средство. В мылах под влиянием свободной щёлочи, находящейся в них и образующейся при гидролизе во время умывания, тимол превращается в индифферентный тимолят натрия.

*Фурацилин (5-нитро-2-фуфурилен-семикарбазон)* – сильное антисептическое средство, действующее на грамположительные и грамотрицательные микробы, на крупные вирусы и некоторые простейшие. Растворы фурацилина не раздражают кожи и способствуют грануляции и заживлению ран. В косметике ему нашли применение, особенно в сочетании с серой, для ухода за жирной кожей лица, склонной к проявлению угревой сыпи.

*Хинозол [ $C_9H_7(OH)2N_2 \cdot H_2SO_4$ ] сульфат-8-оксихинолина* – сильное и безвредное антисептическое средство. В разведении 1 : 300000 задерживает рост низших микроорганизмов, а при разведении 1 : 40000 убивает их. Прекрасное средство для косметических и гигиенических препаратов. В мылах применяется в соотношении 1 : 200 [3].

*Хлоргексидина биглюконат* является одним из наиболее активных местных антисептиков. Он хорошо переносится и оказывает быстрое и сильное бактерицидное влияние на бактерии, при этом обладает слабой противогрибковой активностью и не оказывает разрушающего действия на вирусы и споры. Препарат сохраняется на коже рук и продолжает оказывать бактерицидный эффект [4].

Одним из интересных направлений исследования применения антисептических веществ является использование *йода* в косметической продукции, так как он оказывает противомикробное действие [2].

*Деготь березовый* – продукт переработки наружной части коры березы, обладающий антисептическим действием [5].

*Иманин* – антибактериальный препарат, получаемый из зверобоя продырявленного. Обладает способностью подсушивать раневую поверхность и стимулировать регенерацию тканей.

*Настойки календулы и ромашки* – противомикробные средства, способствующие заживлению трещин на коже и порезов [6].

*Сосновая живица и кедровая смола* обладают антибактериальными и противовоспалительными свойствами [7,8].

*Эфирные масла эвкалипта и чайного дерева* благодаря своему химическому составу проявляют антибактериальные, противовирусные, противовоспалительные, ранозаживляющие, регенерирующие, дезодорирующие и фитонцидные свойства [9, 10].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Антибактериальные средства гигиены: вред и польза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://formulazdorovya.com>. – Дата доступа: 16.03.2019.
2. Антисептические средства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.greatlove.ru>. – Дата доступа: 20.03.2019.
3. Косметическая химия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cosmetic-chemistry.ru>. – Дата доступа: 20.03.2019.
4. Нет болезни / Лекарства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://netbolezni.net>. – Дата доступа: 21.03.2019.
5. Нетрадиционная медицина / березовый деготь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alternative-medicina.ru>. – Дата доступа: 23.03.2019.
6. Природа знает / Настойка ромашки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://priroda-znaet.ru>. – Дата доступа: 24.03.2019.
7. Народная медицина / Сосновая живица [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lechim-vmeste.ru>. – Дата доступа: 24.03.2019.
8. Секреты вдохновения / Кедровая живица [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inspire2u.ru>. – Дата доступа: 24.03.2019.
9. Энциклопедия лекарственных растений / Лечебные свойства и правила использования эвкалиптового масла для здоровья и красоты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://herbalpedia.ru>. – Дата доступа: 25.03.2019.
10. Афродита / Эфирное масло чайного дерева [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alternative-medicina.ru>. – Дата доступа: 24.03.2019.

УДК 665.32

Студ. А.А. Вишняк

Науч. рук. ассист. М.В. Андрюхова

(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ЖИРА НА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА КОСМЕТИЧЕСКОЙ ЭМУЛЬСИИ

*Косметическая эмульсия* – однородная по внешнему виду многокомпонентная система, состоящая из двух практически взаимно не растворимых жидкостей, одна из которых при этом находится в диспергированном виде, а другая представляет собой сплошную среду с распределёнными в ней частицами первой жидкости. К косметическим эмульсиям относятся кремы. Они предназначены для ухода за кожей лица, рук, головы, тела и т. д. [1].

*Цель исследования* – оценить влияния вида жира, входящего в состав косметической эмульсии, на увлажнение и смягчение ею кожи. Были изготовлены 25 образцов: контрольный образец 0 не содержал масло (таблица 1); образцы 1-2 были изготовлены с использованием вазелина, широко применяемого в косметических эмульсиях; образцы 3–24 различались видом и содержанием исследуемого масла (таблица 2).

**Таблица 1 – Состав косметической эмульсии**

Название компонента	Содержание, %	Описание компонента и его функция
Липодерм крио	1,7	Самозэмульгирующая кремовая база (основа); Состав: полиакрилат натрия, масло оливковое гидрогенизированное, цетеарет 23, сквалан, неомыляемая фракция оливкового масла.
Кутина GMS	0,2	Глицерин моностеарат, структурообразователь для эмульсий прямого типа.
Глицерин	0,2	Эффективный увлажнитель и смягчающий компонент, улучшает распределение косметического средства по поверхности кожи, обладает влагоудерживающими свойствами.
Эмульгатор Т9	0,2	Водорастворимый универсальный неионогенный эмульгатор (применяется для получения эмульсий прямого типа). Состав: цетеарет 23, дипропиленгликоль.
Роконсал РВ5	1,0	Консервант. Смесь метил-, этил-, пропил- и бутилпарабенов и феноксиэтанола. Не содержит формальдегид и формальдегидобразующих веществ.
Вода	До 100	Дисперсионная среда.

**Таблица 2 – Перечень образцов исследуемых косметических эмульсий, отличающихся видом и содержанием масла**

Номер образца	Исследуемое масло	Содержание масла, %
0	Контрольный образец	–
1/2	Вазелин	2/4
3/4	Масло кокосовое	2/4
5/6	Масло оливковое	2/4
7/8	Масло пальмовое	2/4
9/10	Масло касторовое	2/4
11/12	Масло какао	2/4
13/14	Масло виноградной косточки	2/4
15/16	Масло жожоба	2/4
17/18	Масло карите	2/4
19/20	Масло бабассу	2/4
21/22	Масло подсолнечное	2/4
23/24	Масло кукурузное	2/4

*Способ приготовления косметической эмульсии.* В стакан помещали сначала необходимое количество липодерма крио, кутины GMS, эмульгатора Т9 и исследуемого масла, а затем предварительно смешанные глицерин и воду. Полученную смесь при непрерывном перемешивании нагревали на плитке до 90°C (с целью обеспечения микробиологической чистоты образца), после чего прекращали нагрев и эмульгировали систему при помощи механической мешалки в течение 30–45 минут. При температуре около 40°C вводили консервант. Готовые образцы соответствовали требованиям СТБ 1673-2006. Испытания изготовленных образцов крема на способность оказывать ими увлажняющее и смягчающее действие на кожу проводили на 10 добровольцах. Перед нанесением крема на кожу оценивали ее состояние по десятибальной шкале. Затем при помощи палочки на кожу рук наносилось небольшое количество крема, которое доброволец растирал одним пальцем по половине площади тыльной стороны ладони. При этом производился подсчет количества круговых движений, необходимых для полного впитывания крема.

Таким образом, наивысшие оценки получили образцы под номерами 10 (масло касторовое, 4%) и 12 (масло какао, 4%), а самой быстрой впитываемостью обладали образцы под номерами 18 (масло карите, 4%) и 22 (масло подсолнечное, 4%).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Паронян, В.Х. Технология производства парфюмерно-косметических продуктов / В. Х. Паронян, А. Ю. Кривова. – М.: ДеЛи принт, 2009. – 668 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ЭФИРНОГО МАСЛА НА СВОЙСТВА КОСМЕТИЧЕСКОЙ ЭМУЛЬСИИ**

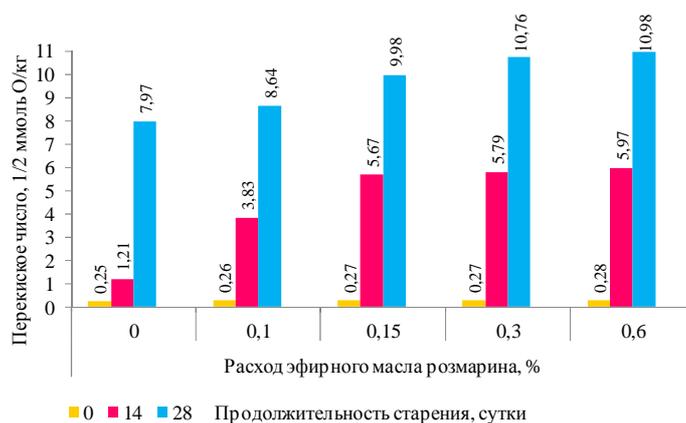
Косметические эмульсии – многокомпонентные системы, в состав которых могут входить биологически активные вещества (БАВ), способные оказывать сильное биологическое действие на кожу. К ним относятся алкалоиды, гликозиды, сапонины, смолы, азулены, витамины, природные масла и т. д. Наибольший интерес представляют природные масла, так как в их состав входят незаменимые жирные кислоты (НЖК), которые питают кожу и поддерживают ее энергетический баланс, регулируют обмен веществ в тканях кожи, способствуют быстрому заживлению ран и регенерации клеток. Недостаток НЖК в коже приводит к нарушению функционирования эпидермального барьера, вследствие чего нарушается ее водный баланс и защитная функция. Совокупность данных факторов негативно сказывается на внешнем виде кожи: она становится сухой, шелушится, повышается ее чувствительность к воздействию внешних факторов. Именно поэтому в состав косметических эмульсий необходимо включать жиры природного происхождения. Однако следует отметить, что наличие НЖК в маслах способствует процессу их окисления, что усиливается с повышением температуры. Предотвратить процессы окисления растительных масел можно введением в состав косметических средств антиоксидантов – веществ, способных блокировать реакции свободнорадикального окисления. В качестве антиоксидантов могут быть использованы витамины, флавоноиды, тиоловые соединения, некоторые аминокислоты, эфирные масла и др. Эфирные масла, при совместном присутствии с растительными маслами, могут способствовать повышению стабильности последних. Действие эфирных масел зависит от активных компонентов в их составе, что определяется сырьем, а также условиями их получения [1].

Цель работы заключалась в исследовании влияния вида эфирного масла и его расхода на устойчивость к окислению косметической эмульсии, содержащей рапсовое масло. Для исследования были выбраны эфирные масла розмарина, жасмина и пальмарозы [2].

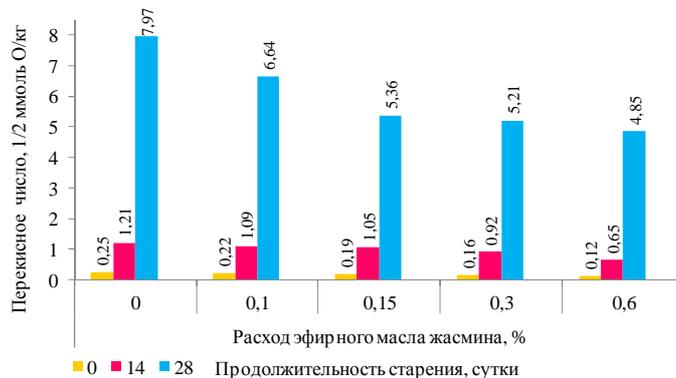
Для получения косметической эмульсии использовали следующие компоненты: самоэмульгирующую основу Липодерм 4/1 (8%), рафинированное дезодорированное рапсовое масло (10%), ланолин (2%), высшие жирные спирты (С16–С18) (2%), глицерин (4%),

метилпарабен (0,2%), бронопол (0,05%), пропиленгликоль (0,1%) и воду дистиллированную (до 100%). Концентрацию каждого эфирного масла в составе эмульсии варьировали в диапазоне 0,1–0,6%. Образцы были получены диспергационным методом по способу «горячий/горячий» [3]. Эфирное масло вводили после охлаждения эмульсии до 40°C, после чего осуществляли дополнительное диспергирование системы. Были получены 13 образцов косметической эмульсии, которые представляли собой стабильные коллоидные однородные массы белого цвета без посторонних примесей с запахом используемого эфирного масла. В качестве сравнения использовали контрольный образец эмульсии, не содержащий эфирного масла.

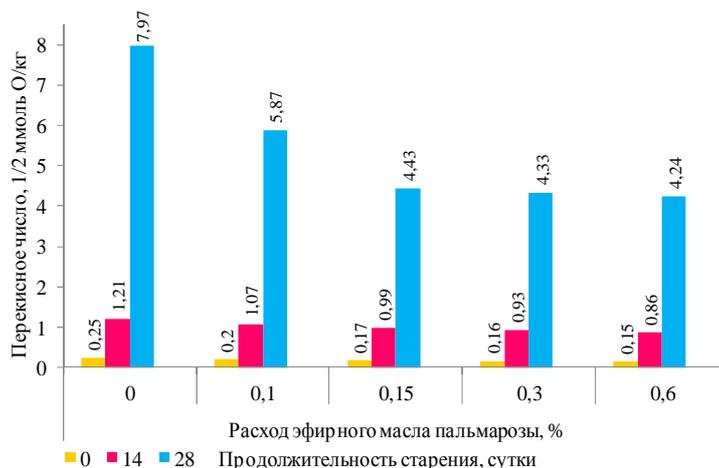
Полученные образцы подвергали ускоренному старению – выдерживанию в термостате при температуре 40–42°C в течение 4 недель. Оценку влияния эфирных масел на устойчивость косметической эмульсии к окислению определяли по изменению перекисного числа (рисунки 1–3).



**Рисунок 1 – Зависимость перекисного числа образцов эмульсии, содержащих эфирное масло розмарина, от продолжительности старения**



**Рисунок 2 – Зависимость перекисного числа образцов эмульсии, содержащих эфирное масло жасмина от продолжительности старения**



**Рисунок 3 – Зависимость перекисного числа образцов эмульсии, содержащих эфирное масло пальмарозы, от продолжительности старения**

Установлено (рисунки 1–3), что увеличение продолжительности термообработки исследуемых образцов эмульсии, содержащих эфирное масло розмарина, жасмина и пальмарозы, сопровождалось увеличением перекисного числа. Это свидетельствовало о накоплении продуктов окисления жиров. Наименьший рост перекисного числа наблюдался у образцов, которые содержали эфирное масло пальмарозы в количестве 0,15–0,6%. Следовательно, наиболее оптимальный расход эфирного масла пальмарозы составил 0,15%. Наибольшее значение перекисного числа получено у образца эмульсии с эфирным маслом розмарина, что может быть связано с окислением отдельных компонентов в его составе.

Таким образом, эфирные масла жасмина и пальморозы препятствуют окислению косметической эмульсии, содержащей растительное масло, что свидетельствует об их антиоксидантных свойствах, и могут быть использованы в качестве натуральных отдушек вместо синтетических.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Самуйлова, Л.В. Косметическая химия: учеб. издание. Ч. 1: Ингредиенты / Л. В. Самуйлова, Т. В. Пучкова. – М.: Школа косметических химиков, 2005. – 336 с.
2. Кустова С.Д. Справочник по эфирным маслам / С.Д. Кустова, Е. Н. Андреевич. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 206 с.
3. Паронян, В.Х. Технология производства парфюмерно-косметических продуктов / В.Х. Паронян, А.Ю. Кривова. – М.: ДеЛи принт, 2009. – 668 с.

УДК 674.8:630.86.035.41

Студ. П.В. Пашковский

Науч. рук. ассист. И.В. Николайчик

(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СУЛЬФИТНОЙ И СУЛЬФАТНОЙ ВАРКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ХВОЙНЫХ И ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

Варка – процесс делигнификации древесины действием на неё варочных растворов с целью получения целлюлозы. В зависимости от основного реагента разделяют кислотную варку и щелочную. К группе кислотных методов относятся сульфитный (реагент – сульфитная варочная кислота) и бисульфитный (водный раствор бисульфита натрия или аммония, а также кальция или магния), к группе щелочных – сульфатный (гидроксид натрия и сульфид натрия) и натронный (гидроксид натрия) [1].

В качестве сырья в сульфитцеллюлозном производстве применяют преимущественно малосмолистые хвойные породы — ель, пихту, а в США и Канаде также гемлок. Особый интерес представляет варка древесины сосны. Давно известно, что ядровая часть сосны нормально не варится по сульфитному способу, давая после варки бурого цвета щепу, неразделимую на волокна. Это явление первоначально объясняли трудностью пропитки ядра сосны вследствие высокой его смолистости и закупорки пор трахеид торусами и тилловыми выростами. Исследования, однако, показали, что экстрагирование ядровой древесины эфиром с последующей экстракцией ацетоном, наоборот, делает сульфитную варку возможной. Изучая состав эфирорастворимой фракции ацетонной смолы, Эрдтман выделил в кристаллическом виде два соединения — двухатомный фенол пиносильвин и его метилэтер (рисунк 1).

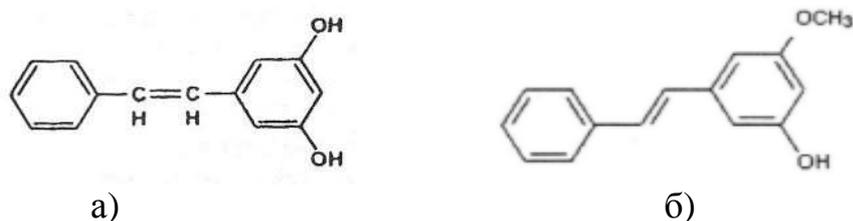


Рисунок 1 – Структурные формулы пиносильвина (а)  
и о-метилпиносильвина (б)

Тщательное исследование доказало значительное тормозящее действие этих фенолов на процесс сульфитной делигнификации вследствие участия их в реакциях конденсации с лигнином. Сосновая

целлюлоза, получаемая даже при варке на растворимых основаниях, отличается от еловой целлюлозы повышенной сорностью и высокой смолистостью. Для снижения содержания смолы можно предварительно пропаривать щепу перед варкой или обрабатывать целлюлозу раствором щелочи. При производстве блененой целлюлозы, предпринимаемое в процессе комбинированной отбелки щелочение, также удаляет смолу, и так как сосновая смола содержит меньше неомыляемых веществ, чем еловая, в блененой сосновой целлюлозе остается очень мало смолы. Кедр ведет себя при сульфитной варке так же, как и сосна. Древесина дугласовой пихты и лиственницы содержит вещество из класса флаванонов, которое также способно вступать в реакции конденсации с лигнином – это дигидрокверцетин или таксофолин (рисунки 2).

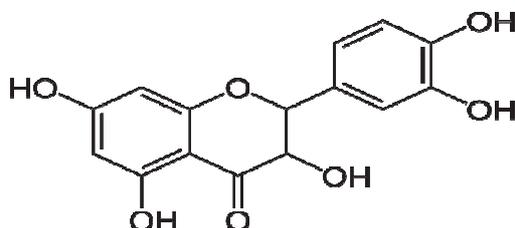


Рисунок 2 – Структурная формула таксофолина

Дополнительные затруднения при сульфитной варке лиственницы возникают из-за высокого содержания в этой породе водорастворимого полисахарида арабиногалактана, количество которого в отдельных образцах может колебаться от 4 до 30%.

Лигнин лиственных пород построен в основном из сирингилпропановых единиц, содержит больше метоксильных групп и менее склонен к реакциям кислой конденсации, чем еловый лигнин. Поэтому лиственная древесина делигнифицируется быстрее хвойной и выход из нее целлюлозы при одинаковом остаточном содержании лигнина значительно выше. Способность к жидкостной пропитке сульфитной кислотой у лиственных и хвойных пород примерно одинакова. При варке таких плотных лиственных пород, как береза, бук, дуб, приходится учитывать то, что малая пористость их может быть причиной недостатка основания во внутренних частях щепы. Поэтому в подобных случаях следует повышать содержание связанного  $\text{SO}_2$  в кислоте.

Лиственные целлюлозы из тополя, осины, березы после сульфитной варки имеют розовый оттенок, обусловленный цветными реакциями лиственного лигнина. Березовая целлюлоза белится так же легко, как и еловая. В настоящее время для варки сульфитной целлюлозы из лиственных пород наиболее широко используются осина, оль-

ха, тополь, береза, бук, а в некоторых южных странах и в Австралии также эвкалипт. Все эти породы перерабатываются по сульфитному способу без каких-либо затруднений.

Из древесины ели и сосны получается примерно равноценная по качеству сульфатная целлюлоза, но за счет меньшего содержания смолы выход целлюлозы из еловой древесины выше. Сосновая целлюлоза несколько труднее размалывается и имеет более низкое сопротивление разрыву и изгибу. Сосновая древесина труднее проваривается, но дает целлюлозу с лучшими показателями по разрывной длине и излому.

При сульфатной варке древесины сибирской лиственницы, которая содержит от 10 до 25% водозэкстрактивных веществ, необходимо увеличивать расход активной щёлочи на 20–30%. По сравнению с варкой сосны, выход целлюлозы из лиственницы значительно ниже, чем из сосны и обычно составляет для целлюлозы средней жёсткости 36–40% [2].

Древесина лиственных пород делигнифицируется быстрее, чем хвойная. Её обычно варят при меньшем расходе активной щёлочи и при более низкой температуре. Показатели механической прочности сульфатной целлюлозы из лиственных пород древесины почти такие же, как и у хвойной. Исключение – сопротивление раздиранию – показатель, зависящий от длины волокна (на 25–30% ниже, чем для хвойной). Выход целлюлозы из лиственных пород более высокий. Различия в выходе целлюлозы объясняются более низким содержанием лигнина в берёзе и осине по сравнению с сосной и более высоким содержанием в них гемицеллюлоз. Сульфатная целлюлоза из лиственных пород древесины используется исключительно в белёном виде [1].

Таким образом, следует отметить, что сульфитная варка осуществляется с применением дешёвых химикатов и на выходе сульфитная целлюлоза более светлая, однако она имеет низкие бумагообразующие свойства. В случае сульфатной варки не имеет значения, какие породы древесины можно применить для её осуществления. Сульфатная варка не занимает много времени. Сульфатная целлюлоза на выходе более прочная, чем сульфитная.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черная, Н.В. Технология щелочной целлюлозы / Н.В. Черная, Н.В. Жолнерович. – Минск: БГТУ, 2015. – 222 с.
2. Непенин, Н.Н. Технология целлюлозы / Н.Н. Непенин. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 624 с.

УДК 547.458.81

Магистрант А.М. Залуцкая

Науч. рук. доц. Н.В. Жолнерович

(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

## **ОЦЕНКА СТЕПЕНИ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Одной из определяющих свойства черт целлюлозосодержащих материалов является степень кристалличности.

Под степенью кристалличности понимают отношение суммарного рассеяния кристаллитов к общему рассеянию от аморфных и кристаллических областей. Степень кристалличности оказывает влияние на физико-химические и теплофизические свойства целлюлозы, а также на реакционную способность (в т.ч. и в процессе гидролиза).

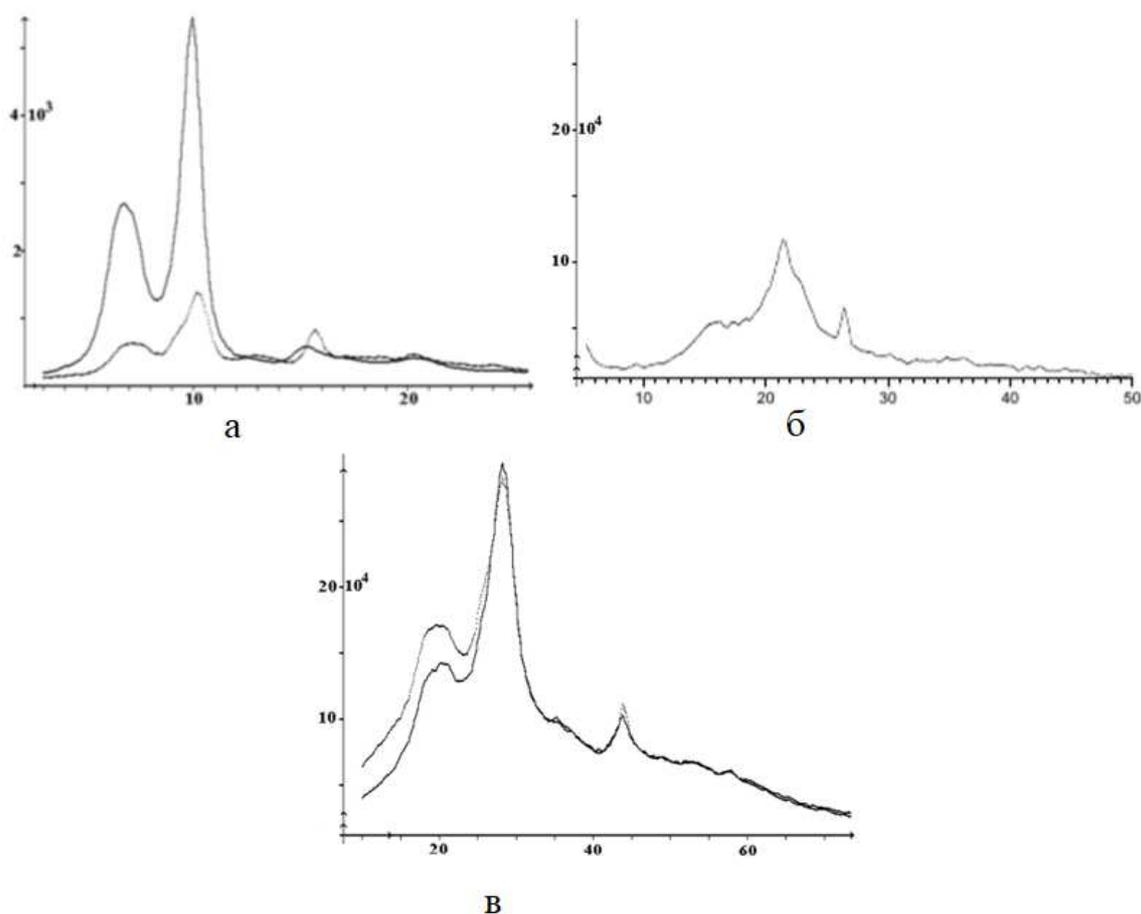
Необходимо проводить оценку степени кристалльности целлюлозосодержащего сырья, используемого для получения микрокристаллической целлюлозы (МКЦ), т.к. степень кристалличности МКЦ определяется структурными особенностями исходной целлюлозы.

Существует ряд методов для определения степени кристалличности, среди них нашли широкое применение рентгенографический метод, метод ИК-спектроскопии, в том числе в сочетании с реакцией изотопного обмена при действии на целлюлозу  $D_2O$ , а также определение по плотности, гигроскопичности, удельной поверхности [1].

Объектами исследований в работе были образцы сульфатной бленной целлюлозы из хвойной древесины и химико-термомеханическая масса (ХТММ), предоставленные ОАО «Светлогорский ЦКК», а также целлюлозы соломы тритикале.

Для определения степени кристалличности был использован рентгеноструктурный анализ (РСА). Данный метод позволяет установить параметры кристаллической решетки, степень кристалличности и дефектность кристаллов, а также ряд других характеристик, связанных со структурой целлюлозы. В этом методе рентгенограмму разделяют на две части – кристаллическую и аморфную, подсчитывают площади под соответствующими кривыми, которые в дальнейшем считают пропорциональными объему фаз [2].

Рентгенограммы были получены на рентгеновском дифрактометре HZG-4/a ( $CuK\alpha$ -излучение, Ni – фильтр).



а) сульфатная беленной целлюлозы; б) солома тритикале; в) ХТММ

**Рисунок 1 – Рентгенограммы образцов целлюлозы**

Степень кристалличности различных видов целлюлозосодержащего сырья была рассчитана по методу Сегала [3]. Результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Оценка степени кристалличности целлюлозосодержащего сырья**

Наименование образца	Степень кристалличности, %
Сульфатная беленная целлюлоза	72
Солома тритикале	66
ХТММ	55–60

Как видно из таблицы, степень кристалличности различных видов сырья составляет 55–72%. Наибольшая степень кристалличности наблюдается у сульфатной беленной целлюлозы, но использовать её в качестве сырья для МКЦ крайне затратно. Поэтому целесообразно использовать солому тритикале либо ХТММ. Необходимо отметить, что степень кристалличности зависит не только от состава сырья, но и от способа получения целлюлозы [4].

К методам получения целлюлозы относят сульфатную и сульфитную варку древесины, в результате которой получается древесная целлюлоза. Более мягкие режимы варки позволяют выделить целлюлозу из однолетних растений и хлопка. Целлюлозу также вырабатывают из химико-термомеханической древесной массы при помощи паровзрывной обработки. Степень кристалличности целлюлозы при щелочной обработке снижалась. Кислотная обработка позволяет получить целлюлозу с высокой степенью кристалличности [5].

По литературным данным для повышения степени кристалличности технической целлюлозы возможно удаление влаги из сырья. Самыми распространенными методами повышения кристалличности целлюлозы являются сушка и ультразвуковое воздействие или совокупность этих двух методов [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Структура и физико-химические свойства целлюлоз и нанокomпозитов / Л.А. Алешиной [и др.]– Петрозаводск : ПетрГУ, 2014. – 242 с.
2. Ioelovich, M. Physicochemical methods for determination of cellulose crystallinity/ M. Ioelovich // ChemXpress. – 2016 – Vol. 9, №3– P. 245-251
3. Segal, L. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer / L. Segal, J.J. Creely, A.E.Jr. Martin, C.M. Conrad // Textile Research Journal.– 1959. – Vol. 29, № 10. – P. 786-794.
4. Lavonine, N. Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review / N. Lavoine, I. Desloges, A. Dufresne, J. Bras // Carbohydrate Polymers. – 2012. – № 90. – P. 735-764.
5. Нугманов, О.К. Исследование структуры целлюлозы из травянистых растений / О.К. Нугманов // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы V Всерос. конф., Барнаул 24-26 апреля 2012 г. / Алт. гос. ун-т; редкол.: Н.Г. Базарновой [и др.]. – Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2012. – С. 19-21.
6. Ахметшин, И.Р. Получение микрокристаллической целлюлозы из лигноцеллюлозного материала, активированного паровзрывной обработкой : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.03 / И. Р. Ахметшин – Казань, 2017. – 139 л.

УДК 628.355

Студ. Л.Б. Таганова

Науч. рук. доц. И.А. Гребенчикова  
(кафедра биотехнологии, БГТУ)

## **ХАРАКТЕРИСТИКА НИТЧАТЫХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ БИОЦЕНОЗА АКТИВНОГО ИЛА ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ**

Нитчатое вспухание активного ила (АИ) – одна из распространенных проблем биологической очистки сточных вод. При массовом развитии нитчатых форм микроорганизмов хлопья АИ дезагрегируют, что ухудшает их седиментационные свойства [1]. Вследствие этого происходит ухудшение процесса разделения иловой смеси во вторичных отстойниках, наблюдается повышенный вынос ила с биологически очищенной водой.

Причины вспухания различны: токсическое действие на ил промышленных поллютантов; поступление перегруженных органикой сточных вод пищевой промышленности; дисбаланс (недостаток или избыток) биогенных веществ; присутствие соединений серы; высокая или низкая температура воды [2]; низкое (менее 5,0) значение рН и др.

Целью работы являлось установление характеристик нитчатых микроорганизмов, выделенных из биоценоза АИ Минской очистной станции, для выявления условий подавления их развития.

В экспериментах использовали полусинтетическую среду, состав которой был приближен к среднему составу сточных вод, поступающих на очистную станцию.

Из АИ были выделены 5 штаммов нитчатых бактерий, для которых установлены следующие морфологические характеристики:

– бактерии штамма 21: короткие неподвижные ветвящиеся нити, слабограмположительные, образуют споры, без капсул и чехлов, толщина – 0,5-0,7 мкм, длина нитей – 20-60 мкм;

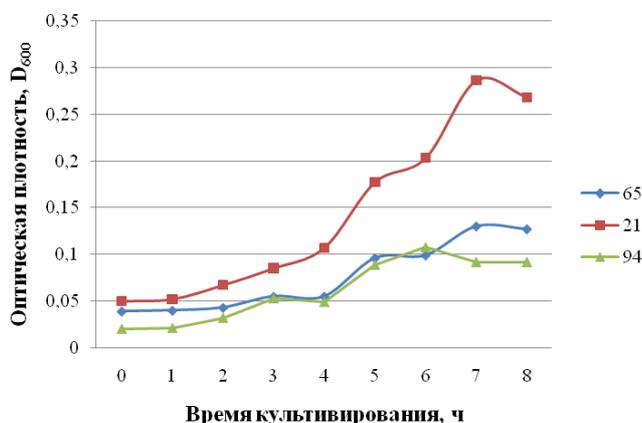
– бактерии штамма 65: сильно извилистые нити, состоящие из овальных грамположительных клеток, подвижные, неспорообразующие, без капсул и чехлов, с видимыми перетяжками между клетками, диаметр клеток – 1,0-2,5 мкм, длина нитей – до 200 мкм;

– бактерии штамма 94: слегка изогнутые нити, состоящие из палочковидных клеток в чехле, неспорообразующие, грамположительные, капсул не образуют, ширина палочек – 2,0 мкм, длина – 5,0 мкм, длина нитей – до 100 мкм;

– бактерии штамма С2: извилистые нити, состоящие из округлых грамположительных клеток диаметром 1,5-2,0 мкм, неспорообразующие, длина нитей – до 200 мкм;

– бактерии штамма 71: длинные нити, состоящие из палочковидных клеток, грамположительные, неспорообразующие, без капсул, толщина палочки – 1,5-3 мкм, длина – 3 мкм, длина нити – до 500 мкм.

При эксплуатации очистных сооружений важно знать скорость роста нитчатых бактерий. С этой целью для бактерий штамма 21, 65 и 94 были построены кривые роста. Бактерии культивировали при температуре 25°C и частоте встряхивания 170 мин<sup>-1</sup>. Оптическую плотность суспензии измеряли с интервалом 1 ч при длине волны 600 нм. Наиболее приспособленными к условиям среды оказались бактерии штамма 21, для которых удельная скорость роста составила 0,06 ч<sup>-1</sup> (рисунок 1). Для бактерий штаммов 65 и 94 этот показатель достигал только 0,02 ч<sup>-1</sup>.



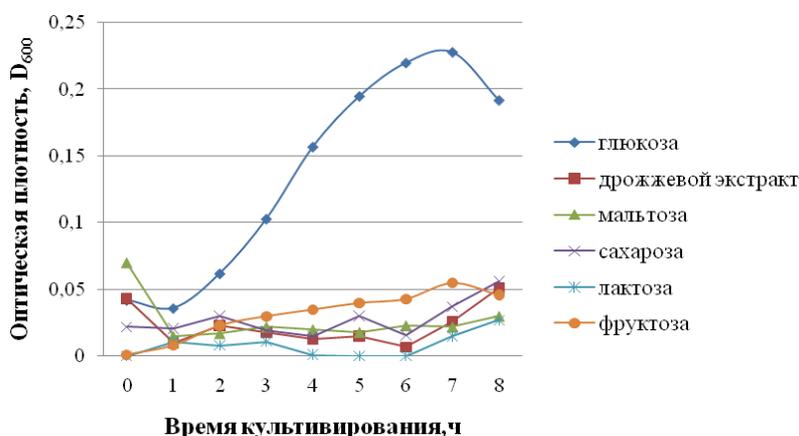
**Рисунок 1 – Кривые роста нитчатых бактерий различных штаммов, культивируемых в полусинтетической среде с глюкозой**

В сточных водах, поступающих на станцию, присутствует широкий спектр органических соединений. Для определения способности бактерий утилизировать различные субстраты (глюкозу, фруктозу, сахарозу, ксилозу, арабинозу, галактозу, мальтозу, лактозу, цитрат натрия, глицерин, дрожжевой экстракт, ацетат натрия) использовали метод реплик. Посевы инкубировали двое суток при температуре 25°C.

Показано, что бактерии штамма 21 и 94 проявили высокую способность утилизировать все источники углерода. Бактерии штамма 65 не утилизировали лактозу, ксилозу, арабинозу, глицерин, цитрат и ацетат натрия. Для дальнейших исследований были выбраны бактерии штамма 65, которые являются одними из наиболее распространенных в АИ очистной станции.

Из рисунка 2 видно, что бактерии штамма 65 проявили высокую способность утилизировать глюкозу, при этом удельная скорость роста составила 0,03 ч<sup>-1</sup>. На среде с фруктозой этот показатель был гораздо

ниже  $-0,01 \text{ ч}^{-1}$ . На средах с другими источниками углерода в течение 8 часов культивирования рост практически не наблюдался.



**Рисунок 2 – Кривые роста нитчатых бактерий штамма 65 на средах с различными источниками углерода**

Температура иловой суспензии в аэротенке изменяется в зависимости от температуры окружающей среды. Поэтому представляет интерес поведение бактерий при различных температурных режимах.

Культивирование проводили при температуре 15-40°C с частотой встряхивания  $180 \text{ мин}^{-1}$ . Как показали результаты эксперимента, оптимум роста бактерий штамма 65 наблюдался при 30-35°C.

Таким образом, в результате проведенных исследований выделены 5 штаммов нитчатых бактерий, определены их морфологические свойства. Для наиболее распространенных в АИ бактерий штамма 65 выявлен ряд утилизируемых источников углерода и температурный оптимум, равный 30-35°C. Для более полной характеристики микроорганизмов необходимо определить их способность утилизировать различные источники азота, расти при различных значениях рН и режимах аэрации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 506 с.
2. Lawson, L. Microscopic investigation of filamentous microorganism in activated sludge process for treatment / L. Lawson // Sweden, Stockholm: KTH Institute School of Biotechnology. – 2018. – P. 43.

УДК 615.322

Студ. Д.В. Севко; асп. Н.Ю. Адамцевич  
Науч. рук. доц. О.С. Игнатовец, ст. науч. сотр. Е.В. Феськова  
(кафедра биотехнологии, БГТУ)

### ПОДБОР УСЛОВИЙ ЭКСТРАКЦИИ ФИСЕТИНА

**Введение.** В последнее время большое внимание уделяется использованию натуральных веществ, содержащихся в овощах, фруктах, лекарственных растениях, в качестве профилактических и терапевтических средств. Одной из наиболее изученных групп биологически активных веществ растительного происхождения являются флавоноиды. Отдельный интерес представляют флавоноиды, способные стимулировать процессы регенерации поврежденных тканей организма. Известно, что в стимуляции регенерации нервной ткани принимают участие флавоноиды фисетин, кемпферол (и его гликозиды) и изокверцитрин [1].

Фисетин (3,3',4',7-тетрагидроксифлавоон) ( $C_{15}H_{10}O_6$ ) присутствует во многих растениях, придавая им окраску желтого или красновато-желтого цвета [2]. Он содержится в овощах (томат, лук, огурец), фруктах (яблоко, хурма, персик), деревьях из родов Гледичия, Скумпия и из семейства Вересковые. Наибольшая концентрация фисетина была обнаружена в ягодах клубники (160 мкг/г) [3].

Обнаружено, что данный флавоноид обладает высокой антиоксидантной способностью, антиканцерогенными свойствами в отношении нескольких видов рака, проявляет противовоспалительное и антиаллергическое действия [2, 3].

Целью данной работы являлось выделение фисетина из растительного сырья, а также его идентификация с помощью метода тонкослойной хроматографии (ТСХ). В качестве объектов исследования использовали плоды хурмы, лука, яблок; ягоды клубники и лесной земляники; цветки душицы и календулы.

**Экспериментальная часть.** Для экстракции фисетина использовали цветки душицы и календулы, высушенные при комнатной температуре в защищенном от света месте, и лиофилизированные плоды хурмы, лука, яблок, ягоды клубники и лесной земляники. Нами были отработаны различные методики выделения фисетина из растительного сырья, описанные ниже.

Пробоподготовка первой методики заключалась в следующем: высушенное сырье измельчали, экстракцию проводили 80%-ным метанолом равными порциями каждые 24 часа (общее соотношение экстрагент : сырье составляло 10:1) в течение 3 суток в темном месте при

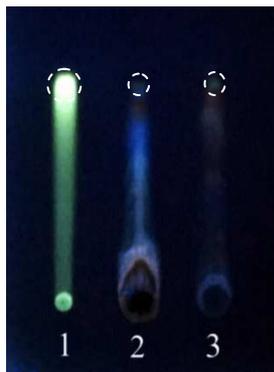
комнатной температуре. По завершению процесса экстракции экстракт фильтровали и упаривали на роторном испарителе при температуре 40°C. К упаренному остатку добавляли 50 мл дистиллированной воды и выдерживали в холодильнике двое суток, после чего проводили жидкостно-жидкостную экстракцию с использованием 50 мл хлороформа. Смесь хорошо встряхивали, разделяли водную и органическую фазы на делительной воронке и упаривали их на вакуумном роторном испарителе [4].

Вторая методика экстракции заключалась в предварительном проведении щелочного гидролиза: к одному объему высушенной и измельченной фракции сырья приливали 7 объемов 0,3 М гидроксида натрия. Гидролиз проводили в течение 48 ч при температуре 40°C и постоянном перемешивании. По окончании гидролиза суспензию нейтрализовали 0,3 М раствором серной кислоты до pH 3÷4. Далее экстракцию осуществляли смесью растворителей этанол/1,4-диоксан в объемном соотношении 1:1. К одному объему гидролизата приливали два объема смеси. Экстракцию проводили в течение 20 ч при комнатной температуре и постоянном перемешивании. По окончании процесса экстракции смесь фильтровали и упаривали при 40°C на роторном испарителе [5].

По третьей разработанной нами методике, к высушенному, измельченному сырью приливали раствор 2%-ной соляной кислоты в соотношении 1:40 и кипятили с обратным холодильником в течение 3 ч. Затем гидролизат охлаждали и упаривали на роторном испарителе при температуре 50°C.

Пробоподготовка четвертой методики заключалась в методе ремацерации: высушенное сырье измельчали и фисетин экстрагировали 50%-ным этиловым спиртом в соотношении 1:10 при температуре 30°C в течение 24 ч, после чего экстракт фильтровали и к осадку приливали новую порцию экстрагента и повторяли процесс экстракции. Затем экстракт фильтровали, смешивали с первой частью вытяжки и упаривали на роторном испарителе при температуре 40°C.

Анализ полученных экстрактов проводили методом ТСХ на пластинках TLC Silica gel 60 (MERCK, Германия) с использованием в качестве элюента изопропилового спирта. Идентификацию проводили по фактору удерживания ( $R_f$ ). В качестве образца сравнения использовали стандартный раствор коммерческого препарата фисетина (Thermo Fisher, Германия).



1 – стандартный образец фисетина;  
2 – экстракт клубники, полученный  
методом 3; 3 – экстракт клубники,  
полученный методом 4

**Рисунок – Хроматограмма стандарта  
фисетина и экстрактов клубники  
в УФ-свете (365нм)**

### Обсуждение результатов.

Практически для всех полученных экстрактов было характерно наличие большого числа компонентов. Но выявить фисетин удалось только в экстрактах клубники (рисунок).

$R_f$  раствора стандарта фисетина составляет 0,62. Слабовыраженные пятна с таким же  $R_f$  присутствуют и на хроматограмме экстрактов клубники, полученных методами 3 и 4.

Таким образом, в ходе работы были проанализированы

несколько образцов овощей, фруктов, ягод и лекарственных трав. Фисетин удалось обнаружить только в экстрактах клубники, полученных методами кислотного гидролиза и ремацерации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Stimulation of neuroregeneration by flavonoid glycosides [Electronic resource]. – Mode of access: [www.google.com/patents/US20120087980](http://www.google.com/patents/US20120087980). – Date of access: 21.02.2018.

2. Тараховский, Ю.С. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Ю.С. Тараховский; Ю.А. Ким, Б.С. Абрасилов, Е.Н. Музафаров. – Пушино: Synchronbook, 2013. – 310 с.

3. Khan, N. Fisetin: A Dietary Antioxidant for Health Promotion / N. Khan, D.N. Syed, N. Ahmad, H. Mukhtar // Mary Ann Liebert. – 2013. – Vol. 19 (2). – P. 151–162.

4. Surnis, S. A. Extraction, Isolation and Quantification of Bioactive Compound (Fisetin) and its Product Formulation / S. A. Surnis, P. S. Patil, R. H. Jadhav // International Journal of Engineering and Technical Research. – 2016. – Vol. 5 (8). – P. 56–58.

5. Биологически активные добавки на основе секоизолярицирезинола диглюкозида из семян льна масличного / Е. В. Феськова [и др.] // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия и технология орган. в-в. – 2008. – Вып. XVI. – С. 181–183.

УДК 628.355

Магистрант Ю.И. Ахмадиева  
Науч. рук. доц. Р.М. Маркевич  
(кафедра биотехнологии, БГТУ)

## **ВЛИЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА НА КАЧЕСТВО ПРИРОДНОЙ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНОГО ИСТОЧНИКА**

Характерной особенностью поверхностных источников централизованного водоснабжения является наличие в природной воде фитопланктона.

К фитопланктону относятся протококковые водоросли, диатомовые водоросли, динофлагелляты, кокколитофорида, и другие одноклеточные водоросли (часто колониальные), а также цианобактерии. Фитопланктон является первичным продуцентом органического вещества в водоёме и служит пищей для зоопланктона и зообентоса.

Развитие фитопланктонных сообществ происходит с определенной периодичностью и зависит от различных факторов, таких как: количество поглощаемого света, температура воды, мутность, наличие биогенных элементов, продуктов жизнедеятельности самих водорослей, морфометрических особенностей водоисточников и их гидрологического режима.

Для фитопланктона характерно сезонное развитие, когда в течение года изменяется его таксонометрический состав, структура, численность и биомасса.

В период интенсивного роста водорослей и после отмирания их клеток в воду попадают различные химические вещества. Спектр метаболитов водорослей очень широк – от низкомолекулярных летучих соединений до каротиноидов ( $C_{40}H_{56}O_2$  и  $C_{40}H_{56}$ ) [1].

Часть из этих веществ характерна практически для всех отделов водорослей, другая часть очень специфична и найдена лишь у отдельных представителей определенных отделов, классов и родов водорослей. Многие метаболиты проявляют высокую биологическую активность (терпены и их производные, изопреноиды, диметилсульфоксид, галоидированные лактоны и кетоны, гетероциклические, ароматические и серосодержащие углеводороды) [1].

Сезонные изменения качества воды, развитие фитопланктона, биологическое преобразование органических соединений, присутствующих в воде, обуславливает появление запахов.

Некоторые виды микроводорослей в результате своей деятельности, а также при отмирании и разложении являются продуцентами пахнущих веществ. К таким водорослям могут относиться виды

*Oscillatoria agardhii*, *Aphanizomenon flos-aqua*, *Microcystis aeruginosa*, *Uroglena Americana*, *Microcystis flos-aquae*, *Anabaena flos-aqua*, *Melosira granulate*, *Nodularie*, *Synura petersenii* и другие. Некоторые из них представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Одоранты

Соединения	Производящие их организмы
Изопропилмеркаптан	<i>Microcystis flos-aquae</i>
Диметилдисульфид	<i>Microcystis flos-aquae</i> , <i>O. chalybea</i>
Диметилсульфид	<i>O. chalybea</i> , <i>Anabaena sp.</i>
Метилмеркаптан	<i>Microcystis flos-aquae</i> , <i>O. chalybea</i>
Бета-циклоцитраль	<i>Microcystis sp.</i>
Цис-3-гексен-1-ол	Зеленые водоросли
Цис-3-гексенилацетат	Зеленые водоросли
2,4-гептадиенал	<i>Uroglena Americana</i> , <i>Dinobryon sp.</i>
2,6-нонадиенал	<i>Synura petersenii</i>

На интенсивность образования одорирующих веществ в процессе жизнедеятельности микроводорослей влияет стадия их роста, а также условия среды обитания – освещенность и температура окружающей среды, причем при снижении последних двух параметров интенсивность образования одорирующих веществ увеличивается [2].

В технологию подготовки воды для хозяйственно-питьевых целей значительные осложнения вносит нарушение процесса саморегулирования в водных биоценозах, которое проявляется в массовом развитии отдельных представителей альгофлоры, известном под названием цветения воды.

Решение данной проблемы требует комплексного подхода, одним из основных аспектов которого является мониторинг запахов природных вод и изучение процессов их формирования.

В рамках данной работы, изучалось качество природной воды из поверхностного источника – резервного водохранилища «Крылово» Вилейско-Минской водной системы, служащего источником хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Минска.

По данным многолетнего мониторинга, в речной воде, поступающей на Очистную водопроводную станцию г. Минска для подготовки до питьевого качества в соответствии с требованиями СанПиН 10-124 РБ 99, обнаруживаются водоросли 7 отделов: сине-зеленые (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*); диатомовые (*Asterionella Formosa*, *Melosira*, *Navicula*, *Sunetra acus*, *Synedra ulna*, *Fragilaria*, *Cyclotella*); зеленые (*Tetrastrum*, *Coelastrum*, *Pediastrum*,

Actinastrum, Ankistrodesmus, Dictyosphaerium, Monoraphidium, Oocystis, Straurastrum, Scenedesmus, Phacotus, Elakatothrix, Tetraedron, Schroederia); золотистые (Dinobryon, Mallomonas, Stenokalyx, Synura); пиррофитовые (Ceratium, Peridinium); криптофитовые (Cryptomonas); эвгленовые (Trachelomonas).

В рамках работы был выполнен анализ основных групп запахов и определена частота их встречаемости в природной воде, поступающей на ОВС.

На основании данных по мониторингу качества исходной воды по параметрам: цветность, мутность, окисляемость перманганатная, общее микробное число, температура, биомасса и численность фитопланктона, был выполнен корреляционный анализ.

Данные анализа позволили выявить сильную (коэффициент корреляции изменяется в пределах от  $\pm 0,7$  до  $\pm 1$ ) положительную (прямую) корреляционную связь между численностью фитопланктона и его биомассой, перманганатной окисляемостью, мутностью и температурой и среднюю связь (коэффициент корреляции изменяется в пределах от  $\pm 0,3$  до  $\pm 0,69$ ) между численностью фитопланктона и цветностью, ОМЧ.

Стоит отметить, что корреляционная связь, как ее усиление, так и ослабление неоднозначны по сезонам года и годам в пределах анализируемого четырехлетнего периода наблюдений.

Выводы: развитие, отмирание и разложение фитопланктона в поверхностных источниках водоснабжения влияет на органолептические показатели качества воды: приводит к появлению интенсивного запаха, повышению мутности, цветности, перманганатной окисляемости, что вызывает необходимость совершенствования классической двухступенчатой технологии водоподготовки и включения на предварительном этапе сооружений для удаления из природной воды фитопланктона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Роль водорослей в образовании побочных продуктов хлорирования воды. / Васильева А. И. [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2014. – №3. – С. 34–41.

2. Микроводоросли как фактор, влияющий на органолептические свойства воды реки Дон. / Скрябин А.Ю. [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – №8. – С. 38–42.

УДК 628.355

Студ. Д.А. Гуринович; инж. В.В. Сороговец

Науч. рук.: доц. Р.М. Маркевич (кафедра биотехнологии, БГТУ);

вед. инженер-технолог О.С. Дубовик (УП «Минскводоканал»)

## **БИОЛОГИЧЕСКОЕ УДАЛЕНИЕ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА И ФОСФОРА В УСЛОВИЯХ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПОСТУПЛЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Поскольку нефтепродукты являются токсичными соединениями для многоклеточных организмов (и также большинства одноклеточных), их удаление из сточных вод играет большую роль в создании благоприятных условий существования живых организмов. В сравнении с реагентным способом очистки, биологическая очистка при помощи активного ила является более распространенной в силу ряда преимуществ, одним из которых является нетоксичность продуктов переработки загрязняющих веществ микробиотой активного ила для обитателей водоемов и человека. Однако на очистных сооружениях примеси, представленные нефтепродуктами, удаляются не полностью, поэтому загрязнение ими водоемов является важной экологической проблемой.

Авторы [1, 2] проводили исследование влияния нефтепродуктов в условиях биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора лишь в случае разового поступления нефтепродуктов, в результате чего было установлено, что содержание нефтепродуктов в сточных водах не оказывает существенного влияния на высвобождение фосфора фосфатного из биомассы активного ила в анаэробных условиях. Удаление фосфора фосфатного из сточных вод в условиях аэрации затруднено при содержании нефтепродуктов  $0,5 \text{ см}^3/\text{дм}^3$  и более. А также была установлена необходимость адаптации биоценоза активного ила к повышенным концентрациям нефтепродуктов.

Целью данного исследования является изучение влияния нефтепродуктов на очистку сточных вод от соединений азота и фосфора в условиях систематического поступления нефтепродуктов.

Иловую суспензию в смеси с осветленными сточными водами в соотношении 1:1 разделили на три пробы в двух экземплярах каждая: проба, не содержащая нефтепродукты (контрольный образец), проба содержащая нефтепродукты в концентрации  $0,1 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ , проба содержащая нефтепродукты в концентрации  $0,5 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ . Инкубирование осуществлялось в шейкере-инкубаторе при температуре  $25^\circ\text{C}$  в течение трех суток с подпиткой смеси осветленными сточными водами и добавлением нефтепродуктов утром и вечером. Перед подпиткой иловую смесь оставляли отстаиваться в течение 5–10 минут, после чего

сливали надильовую воду так, чтобы смеси оставалось  $50 \text{ см}^3$ , приливали  $50 \text{ см}^3$  осветленных сточных вод и добавляли нефтепродукты. После утренней подпитки изучали динамику удаления из сточных вод соединений азота и фосфора, для чего через 30, 60, 90 и 240 мин в отобранной надильовой воде определялось содержание азота аммонийного и фосфора фосфатного. Все измерения проводили колориметрическим методом. Определение фосфора фосфатного основано на взаимодействии с молибдатом аммония с последующим восстановлением полученного комплекса аскорбиновой кислотой. В мерные пробирки объемом  $10 \text{ см}^3$  отбирались пробы профильтрованной через бумажный фильтр “синяя лента” воды в объеме  $1 \text{ см}^3$ . Добавлялся раствор смешанного реактива (23%-ная серная кислота, 3%-ный раствор молибденовокислого аммония, 2,2 %-ный раствор аскорбиновой кислоты, 0,068%-ный раствор антимолибдиннокислого калия в соотношении 5:2:2:1 соответственно) в объеме  $1 \text{ см}^3$ . Смесь доводилась до объема  $10 \text{ см}^3$  дистиллированной водой. После перемешивания измерялась оптическая плотность на спектрофотометре при длине волны 700 нм. Содержание азота аммонийного основано на взаимодействии с реактивом Несслера. В мерные пробирки объемом  $10 \text{ см}^3$  отбирались пробы через бумажный фильтр “синяя лента” воды в объеме  $1 \text{ см}^3$ . В пробу вводились  $0,2 \text{ см}^3$  раствора виннокислого натрия-калия и  $0,2 \text{ см}^3$  реактива Несслера, после чего раствор изменял цвет на желтовато-коричневый. Смесь доводилась до объема  $10 \text{ см}^3$  безаммиачной водой. После перемешивания измеряли оптическую плотность на спектрофотометре при длине волны 420 нм.

Результаты измерений приведены на рисунках 1, 2.

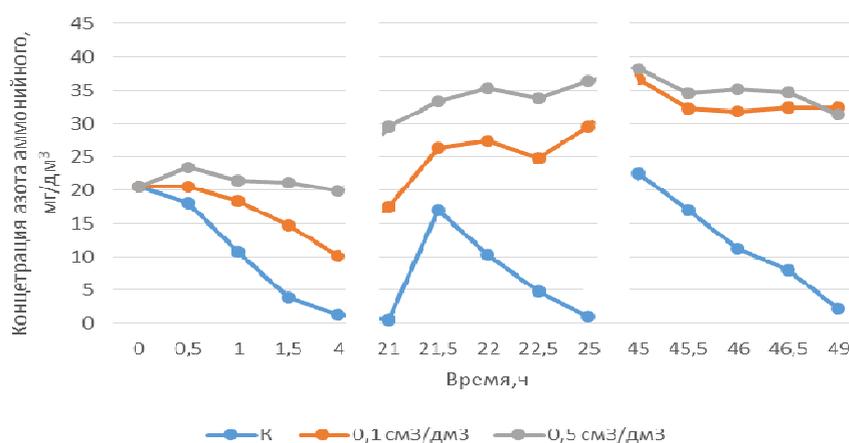
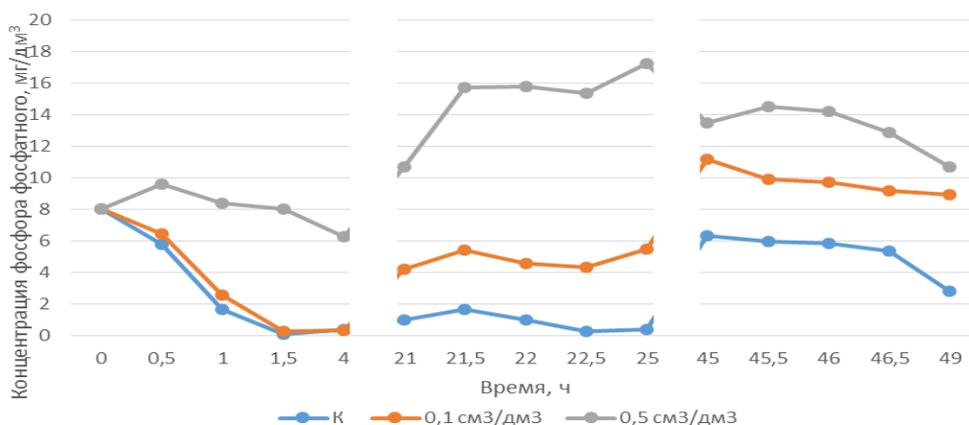


Рисунок 1 – Динамика изменения концентрации азота аммонийного



**Рисунок 2 – Динамика изменения концентрации фосфора Фосфатного**

Как видно из рисунков, при первичном добавлении нефтепродуктов удаление азота аммонийного из сточных вод замедляется по сравнению с контролем при концентрации нефтепродуктов  $0,1 \text{ см}^3/\text{дм}^3$  и практически прекращается при концентрации  $0,5 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ . Процесс удаления фосфора фосфатного ингибируется только при концентрации нефтепродуктов  $0,5 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ . Систематическое поступление нефтепродуктов приводит к полному нарушению процессов удаления соединений азота и фосфора, на вторые сутки их содержание в сточных водах даже увеличивается. При дальнейшем инкубировании иловой смеси наблюдается некоторая стабилизация процессов удаления соединений азота и фосфора, вероятно, вследствие адаптации микробиоты активного ила, при этом менее выражена разница в воздействии разных концентраций нефтепродуктов. Однако в пробах с добавлением нефтепродуктов существенно снизилась седиментационная способность активного ила.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Удаление азота и фосфора из сточных вод, содержащих нефтепродукты /Дубовик О. С. [и др.]// Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2018. – №2 (211). – С. 183–189.
2. Биомониторинг активного ила – перспективный путь решения проблемы экспресс контроля процесса биологической очистки нефте-содержащих сточных вод / Балымова Е.С. [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – Том 15. – 2012. – № 2. – С. 50 – 52.

УДК 628.355

Магистрант А.В. Лиходиевский

Науч. рук. доц. Р.М. Маркевич (кафедра биотехнологии, БГТУ)

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ  
НА ПРЕВРАЩЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА  
ПРИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД  
ПТИЦЕФАБРИКИ**

Сточные воды, образованные на предприятиях птицеводства, имеют довольно сложный многокомпонентный состав, требующий комплексного подхода очистки. Для них характерна высокая загрязненность: значение ХПК составляет 700–3400 мг/л и более, БПК колеблется от 500 до 2600 мг/л, содержание взвешенных веществ находится на уровне 400–2570 мг/л, азота аммонийного – 15–150 мг/л, фосфора фосфатного – 20–60 мг/л. Кроме того, сточные воды характеризуются высоким содержанием жиров [1].

Биологическая очистка данных сточных вод требует протекания не только аэробного поглощения органических веществ, но и процессов нитрификации и денитрификации для удаления соединений азота.

Процесс нитрификации протекает в аэробной зоне и позволяет переработать азот аммонийный сточных вод в нитриты и нитраты. Данный процесс требует высокой концентрации кислорода.

Процесс денитрификации протекает в последующей аноксидной зоне и позволяет превратить накопленные нитриты и нитраты в летучие соединения азота. Так как источником кислорода в данной зоне выступают нитриты и нитраты, то присутствие растворенного кислорода должно сводиться к минимуму.

Цель работы заключалась в анализе работы стадии биологической очистки очистных сооружений птицефабрики и установлении факторов, влияющих на протекание процессов нитрификации и денитрификации. Показатели сточных вод на входе стадии биологической очистки: ХПК=1800 мг/л, NH<sub>4</sub> (по азоту) =19 мг/л, NO<sub>3</sub> (по азоту) =1,2 мг/л.

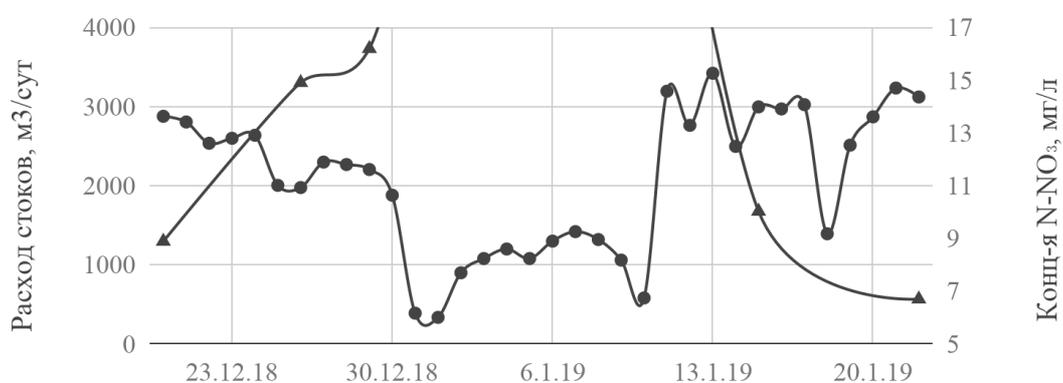
Анализируемая биологическая очистка состоит из двух взаимно перемешивающихся зон: аэробной и аноксидной. Поступающие загрязненные сточные воды разбавляются циркуляционным илом и направляются в зону денитрификации. Анализ работы стадии биологической очистки позволил выявить ряд факторов, влияющих на эффективность протекающих процессов.

*Нагрузка по органическим загрязнениям.* Так как предприятия птицеводства работают циклически, концентрация загрязняющих ве-

ществ может сильно варьировать как в течение суток, так и на протяжении месяца.

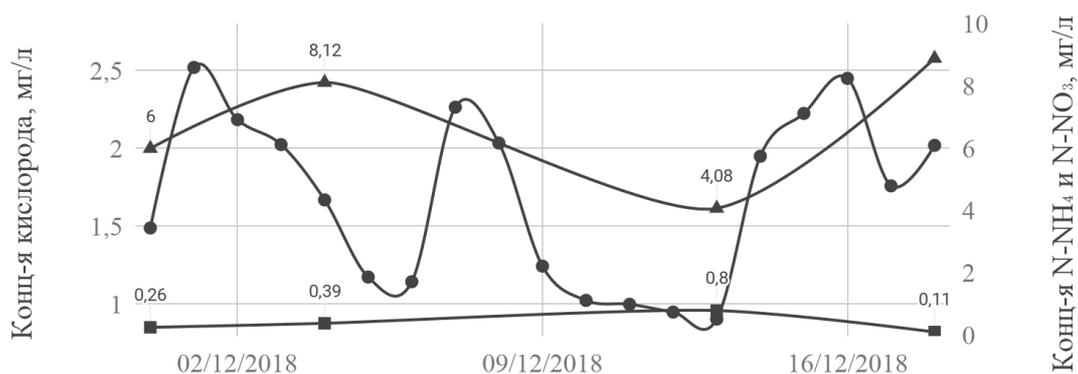
При недостатке органического субстрата (объема стока) на входе в биореактор наблюдалось увеличение нитратов и полное поглощение аммонийного азота. Это свидетельствует о незавершенности процесса денитрификации, для которого требуется наличие органических веществ (рисунок 1).

При повышенных нагрузках по органическому субстрату на входе в биореактор повышался расход необходимого для окисления растворенного кислорода и снижалась его концентрации в аэротенке с 2–3 мг/л до 1 мг/л.



▲ - концентрация N-NO<sub>3</sub>, ● - суточный расход стоков

**Рисунок 1 – Динамика поступления стоков и изменение содержания азота нитратного в аэротенке**



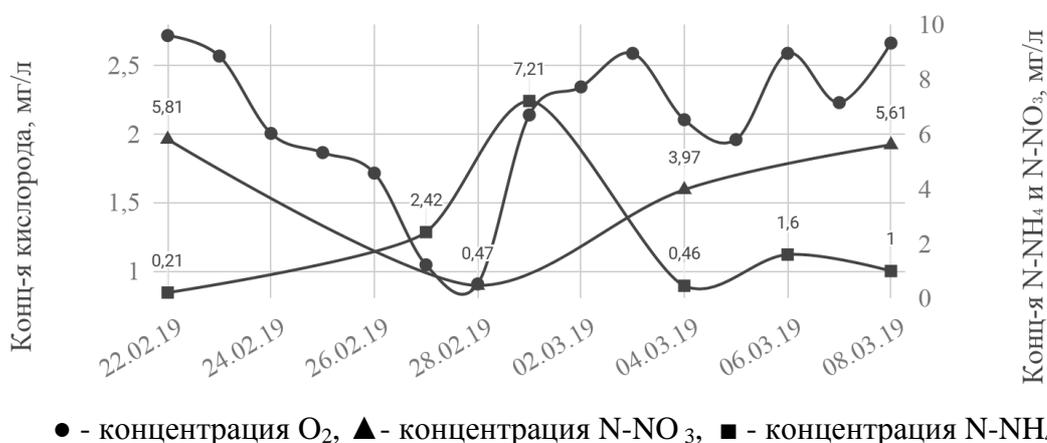
● - концентрация O<sub>2</sub>, ▲ - концентрация N-NO<sub>3</sub>, ■ - концентрация N-NH<sub>4</sub>

**Рисунок 2 – Динамика концентрации растворенного кислорода, азота аммонийного и нитратного в аэротенке**

*Концентрация кислорода в аэротенке.* При снижении концентрации растворенного кислорода наблюдалось снижение нитратов в 2–10 раз и рост концентрации аммонийного азота более чем в 4 раза (ри-

сунок 2, 3). Это объясняется приоритетом гетеротрофных бактерий над нитрифицирующими за потребление растворенного кислорода, что повлекло за собой ухудшение процесса нитрификации.

*Состояние активного ила.* Стабильный нитрифицирующий ил менее подвержен неблагоприятным факторам (рисунок 2). Вспухший активный ил напротив более чувствителен (рисунок 3), менее стабильный к перепадам по ХПК и растворенному кислороду, сложнее восстанавливается. Можно наблюдать, что во втором случае, при нитчатом вспухании, колебания концентраций нитратов и азота аммонийного были более заметны при меньшей продолжительности пребывания в условиях пониженного кислорода.



● - концентрация O<sub>2</sub>, ▲ - концентрация N-NO<sub>3</sub>, ■ - концентрация N-NH<sub>4</sub>

**Рисунок 3 – Динамика концентрации растворенного кислорода, азота аммонийного и нитратного в аэротенке**

*Температура в биореакторе.* Снижение температуры до 13 °С в период недостаточного поступления биоразлагаемого субстрата являлось дополнительным фактором, приводившим к нарушению стабильности активного ила и диспергированию хлопьев.

Таким образом, на процесс превращения соединений азота сточных вод активным илом оказывает влияние наличие в достаточном количестве биоразлагаемого субстрата, оптимальная концентрация растворенного кислорода и температура в аэротенке. Контроль данных параметров позволяет поддерживать стабильность активного ила, что в свою очередь обеспечивает необходимую степень очистки стоков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Птицефабрика [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://npo-ewi.ru/solutions/poultry/>: Дата доступа: 19.04.2019.

УДК 581.524.1

Студ. С.О. Лукашевич, Е.В. Лапян

Науч. рук.: доц. Т.Н. Колесник; ст. преп. А.В. Кучерова  
(кафедра агрохимии, почвоведения и земледелия, НУВГП);

доц. Р.М. Маркевич (кафедра биотехнологии, БГТУ);

ст. преп. А.Д. Воробьев (кафедра ТНВ и ОХТ, БГТУ)

## **АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ *LACTUCA SATIVA* С ОТДЕЛЬНЫМИ ВИДАМИ РАСТЕНИЙ В ВОДНОЙ КУЛЬТУРЕ**

Основной проблемой культивирования *Lactuca sativa* в гидропонных установках является развитие болезней и необходимость применения синтетических средств защиты, что делает невозможным получение продукции, соответствующей требованиям биопоники и биологического растениеводства. Поэтому решением данной проблемы могут стать поликультурные насаждения, главным элементом которых является *Lactuca sativa* как акцептор аллелопатов, а второстепенными элементами являются растения-доноры аллелопатов.

Доноры должны иметь положительное аллелопатическое влияние на акцептор, способствуя ускорению его развития за счет улучшения биохимического фона водной среды и защищая акцептор от развития болезней и вредителей, поэтому исследование и оценка аллелопатического влияния различных растений, которые можно было бы выращивать в водной полкультуре вместе с *Lactuca sativa*, является актуальной проблемой [1].

Целью исследования являлось установление эффекта аллелопатических взаимодействий *Lactuca sativa* с различными видами растений.

В опыте определяли оптимальный вид растения-аллелопата и концентрацию его экссудата для улучшения показателей развития *Lactuca sativa* (всхожести семян, суммы длины прорастания корня и стебля, длины прорастания корня).

Опыт проводился следующим образом: на подходящем субстрате выращивали по 100 семян различных растений-аллелопатов для получения экссудата в 150 мл дистиллированной воде. Прорастание семян велось в термостате при 27°C в течение трех суток. В процессе роста растения выделяли в воду экссудат. Далее в чашки Петри помещали подходящий субстрат, наливали дистиллированную воду и экссудат в различных количествах (100%, 50%, 25% и 12,5%) и помещали по 15 семян *Lactuca sativa*. Проращивание велось в течение трех суток в термостате при температуре 27 °С.

По результатам прорастания семян *Lactuca sativa*, развития корня и стебля, определяли оптимальное растение-аллелопат.

В общем случае всхожесть семян салата посевного зависит от вида растения-аллелопата и концентрации экссудата. Результаты показали, что всхожесть семян салата посевного в различных вариантах отличалась, и на третьи сутки исследования наибольшая всхожесть отмечена в варианте с использованием экссудата самого *Lactuca sativa* в концентрации 100 и 12,5%.

Наблюдение за прорастанием корня и стебля *Lactuca sativa* позволяют подобрать наиболее потенциально сильные растения-аллелопаты, которые окажут положительное воздействие на растение-акцептор, которым в нашем эксперименте является *Lactuca sativa*.

При исследовании влияния концентрации экссудата, равной 100%, на развитие *Lactuca sativa* было выявлено, что наибольший положительный эффект оказывает шпинат, а при концентрации 50% - шпинат и базилик в приблизительно равной степени, при концентрации 25 и 12,5% петрушка и шпинат соответственно.

Наблюдение за прорастанием корня и стебля *Lactuca sativa* позволяют подобрать наиболее оптимальную концентрацию экссудата каждого из растений-аллелопатов, которая окажет положительное воздействие на растение-акцептор. Кресс-салат оказал максимально положительное влияние на развитие салата посевного при концентрации экссудата 25%, шпинат – при концентрации экссудата 12,5%, петрушка – при концентрации экссудата 25%, укроп – при концентрации экссудата 25%, руккола – при концентрации экссудата 25%, базилик – при концентрации экссудата 50%, салат – при концентрации 12,5%.

Таким образом, полученные данные о влиянии растений-аллелопатов на развитие *Lactuca sativa* являлись достаточно неоднозначными (по разным показателям), поэтому требовали системного обобщения, систематизации и ранжирования, что было сделано на следующем этапе научно-исследовательской работы.

Ранжировали показатели, исходя из следующих позиций: создание водной поликультуры может начинаться не с этапа проращивания семян, а с этапа начала развития корня, поэтому показатель влияния колинов растения-аллелопата на прорастание семян имел ранг 3.

Максимальный прирост биомассы *Lactuca sativa* происходит за счет усиленного развития корневой системы, поэтому показатель длины корня имел ранг 1. Суммарная длина корня и стебля *Lactuca sativa* является показателем потенциала развития растения под влиянием колинов растения, поэтому показатель суммарной длины корня и стебля

имел ранг 2. Расчет весовых коэффициентов для ранжированных показателей проводим на основе правила Фишберна (таблица 1).

**Таблица 1 – Ранжирование показателей развития *Lactuca sativa***

№ п.п.	Показатель развития <i>Lactuca sativa</i>	Ранг показателя, $k$	Весовой коэффициент значимости показателя, $q_i$
1.	Длина корня прорастания, Лк, мм	1	0,50
2.	Суммарная длина корня и стебля, Лк+Лп, мм	2	0,33
3.	Всхожесть семян, С, %	3	0,17

Поскольку ранжированные показатели имеют разные единицы измерения и характеризуют процесс развития *Lactuca sativa* с разных позиций, то обобщили полученные показатели по относительным показателям. Интегральный показатель развития *Lactuca sativa* определяли как среднее геометрическое трех основных относительных показателей развития. Учитывая предыдущие результаты исследований развития *Lactuca sativa* под влиянием растений-аллелопатов и результаты ранжирования показателей развития, были обобщены результаты проведенного эксперимента по каждому растению-аллелопату (таблица 2).

**Таблица 2 – Обобщение результатов эксперимента по исследованию влияния кресс-салата на развитие *Lactuca sativa* в водной культуре**

№ п/п	Конц. экс., %	Результат ранжирования			Индекс развития, ИР
		по относительным значениям		всхожесть	
		длина			
		корня, Лк	суммарная, Лк+Лст		
1	100	0,410	0,291	0,164	0,269
2	50	0,495	0,326	0,117	0,266
3	25	0,500	0,330	0,158	0,296
4	12,5	0,413	0,236	0,170	0,255
5	0	0,430	0,277	0,141	0,256

По данным были выбраны концентрации, соответствующие максимальным индексам развития салата посевного (таблица 3).

Анализируя данные таблицы сделали вывод, что наибольший положительный эффект по сумме двух факторов (вида растения-аллелопата и концентрации экссудата) оказывают шпинат, петрушка и руккола в концентрациях 12.5, 25 и 25% соответственно.

**Таблица 3 – Обобщение результатов эксперимента по исследованию влияния растений-аллелопатов на развитие *Lactuca sativa* в водной культуре**

Вариант аллелопата	Индекс развития, ИР	Оптимальная концентрация, %
Кресс-салат	0,296	25
Шпинат	0,319	12,5
Петрушка	0,321	25
Укроп	0,305	100
Руккола	0,320	25
Бasilik	0,317	50
Салат	0,315	12,5
max	0,321	25

Оптимальное соотношение растений-аллелопатов в водной поликультуре салата посевного должно быть следующим: на 100 растений салата приходится 12,5 растений шпината, 25 растений петрушки, 25 растений рукколы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальная аллелопатия / Гродзинский А.М., Головку Э.А., Горобец С.М. и др. – Киев: Наукова думка, 1987. – 236 с.

УДК 615.453.4

Студ. В.М. Ефимович

Науч. рук. доц. О.В. Остроух (кафедра биотехнологии, БГТУ)

#### **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛАТИНОВЫХ КАПСУЛ**

Перспективы развития фармацевтической технологии тесно связаны с влиянием научно-технического прогресса. На базе научных открытий создаются новые технологические процессы, увеличивающие производительность труда и повышающие качество продукции.

Капсулы – твердые лекарственные средства с твердой или мягкой оболочкой разной формы и вместимости. Капсула содержит одну дозу действующего вещества и предназначена преимущественно для орального применения.

Для получения оболочек капсул применяют пленкообразующие высокомолекулярные вещества, способные давать эластичные пленки, характеризующиеся механической прочностью. Такими материалами могут являться желатин, казеин, простые и сложные эфиры целлюлозы и некоторые синтетические полимеры. Наибольшее распространение

ние получили желатиновые капсулы. Кроме желатина, в составе оболочек присутствует целый ряд дополнительных ингредиентов.

Чтобы придать капсулам привлекательный товарный вид или предохранить активные вещества от фотохимических реакций в составе желатиновой основы вводят специальные вспомогательные вещества. Иногда в желатиновую основу добавляют ароматизаторы, придающие капсулам приятный запах. Добавление подсластителей улучшает вкус капсул при проглатывании.

Для окраски оболочек капсул применяют различные красители. Некоторые производители применяют природные красители, малая токсичность которых позволяет использовать их без ограничений в большинстве стран мира.

Для получения непрозрачных капсул применяют замутнители, а для предотвращения возможного слипания капсул – скользящие вещества.

Различают два варианта применения желатиновых капсул:

1. Капсулы для орального применения. В зависимости от локализации они подразделяются на сублингвальные, желудочнорастворимые и кишечнорастворимые.

2. Капсулы для ректального, вагинального и других способов введения. Распространение находят кишечнорастворимые капсулы и капсулы-ретард.

В зависимости от содержания пластификаторов и по технологическому принципу различают два типа капсул: твердые с крышечками, мягкие с цельной оболочкой.

Некоторые виды капсул имеют самостоятельное название:

Тубатины – детская лекарственная форма.

Спансулы – твердые желатиновые капсулы для внутреннего применения, содержащие смесь микрокапсул с жировой оболочкой.

Медулы – твердые желатиновые капсулы, содержащие микрокапсулы с пленочной оболочкой.

Среди недостатков желатиновых капсул можно отметить высокую чувствительность к влаге, что требует соблюдения определенных условий их хранения. Для преодоления этого недостатка возможно использование вместо желатина зеина и других пленкообразующих веществ, устойчивые к воздействию влаги.

Существует ряд известных фармацевтических компаний по производству желатиновых капсул. К ним относят Capsugel и Артлайф. Capsugel – мировой лидер в производстве двухкомпонентных капсул, производящий порядка 200 миллиардов пустых капсул в год.

Преимущества твердых желатиновых капсул:

- защита активных веществ от внешних факторов воздействия;
- возможность комбинации нескольких несовместимых по химическим свойствам веществ в одной капсуле.

Капсулы Coni-Snap – самые популярные в мире среди двухсекционных твердых желатиновых капсул. Основные характеристики и достоинства капсулы:

- сужающиеся края корпуса облегчают процесс сборки капсулы;
- округлые полусферические концы более прочны и устойчивы к деформациям;
- капсулы доступны в широком диапазоне размеров и цветов.

Капсулы двойной инкапсуляции DVcaps – двухсекционные желатиновые или гипромеллозные капсулы с конструкцией, предупреждающей несанкционированное вскрытие, специально разработаны для проведения клинических исследований без систематических ошибок.

Непрозрачные капсулы DVcaps большего диаметра позволяют изолировать и маскировать таблетки большого диаметра или уникальной формы или другие препараты сравнения, в то время как их уменьшенная длина облегчает проглатывание.

В форме мягких желатиновых капсул производятся лекарственные средства, биологически активные добавки, косметические масла и специализированное питание.

Преимущества данной технологии капсулирования:

- увеличивается срок годности препарата;
- сохраняются все полезные свойства растительных и животных масел;
- обеспечивается высокая биодоступность;
- обеспечивается защита от прогоркания ввиду исключения контакта с воздухом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Компания Capsugel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.capsugel.ru>. Дата доступа: 10.04.2019.
2. Компания Артлайф [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://contract.artlife.ru>. Дата доступа: 11.04.2019.

УДК 579.63

Студ. Е.С. Салов

Науч. рук. ассист. Д.С. Сергиевич (кафедра биотехнологии, БГТУ);  
асп. А. В. Пянко (кафедра ХТЭХП и МЭТ, БГТУ)

**ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ  
ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ  
НА ОСНОВЕ Sn-Ni-TiO<sub>2</sub>**

В настоящее время остро стоит проблема наделения антибактериальными свойствами поверхностей общего доступа в местах массового скопления людей, таких как больницы, школы, гостиницы, общественный транспорт и т.д. Это имеет решающее значение при распространении вирусных заболеваний или эпидемий, передающихся бактериями. Установлено, что 15% этих инфекций происходят из-за передачи бактерий через предметы общего назначения, таких как: поручни, ручки дверей и т.д. [1] Таким образом, создание самоочищающегося композиционного покрытия с антибактериальным эффектом позволит решить проблему дезинфицирования поверхностей общего пользования.

Принцип работы фотокатализатора заключается в следующем: при поглощении кванта света с энергией более 3,2 эВ (ультрафиолет с длиной волны менее 390 нм) генерирует свободные носители зарядов – электроны и дырки, которые, выходя на поверхность TiO<sub>2</sub>, вступают в окислительно-восстановительные реакции с кислородом и парами воды из воздуха либо водой. В процессе этих реакций образуются сильные радикалы, которые являются очень сильным окислителем и взаимодействуют с микроорганизмами и различными органическими загрязнениями [2].

В качестве объектов исследования выступили металлические пластинки с нанесенным на них фотокаталитическим покрытием, содержащим 65% олова и 35% никеля (толщина покрытия 6 мкм). Для придания поверхности антибактериальных свойств сплаву олово-никель вводили наночастицы золя TiO<sub>2</sub>.

В качестве тест-культуры использовали санитарно-показательные, грамтрицательные бактерии *E. coli* ATCC 8739.

Для определения антимикробных свойств фотокаталитических покрытий на основе Sn-Ni-TiO<sub>2</sub> использовали метод, изложенный в ISO 27447:2009.



**Рисунок 1 – Фотографии поверхности образца без увеличения (слева), с увеличением  $\times 500$  (справа)**

Однако используя вышеописанную методику при постановке экспериментов, мы столкнулись с рядом проблем. Предоставленные образцы имели высокую пористость из-за чего клетки тест-бактерий плохо смывались с поверхности пластинок, что приводило к искажению получаемых результатов.

Для повышения эффективности смыва бактериальных клеток с поверхности пластинок, вносили в физиологический раствор детергент Твин 40. Оценку эффективности смыва и подбор концентрации детергента проводили путем высева промывных вод и последующим микроскопированием поверхности образца в отраженном свете.

В результате нам удалось подобрать оптимальную концентрацию детергента (концентрация 0,01%) и, таким образом, снизить количество адсорбированных в порах бактериальных клеток после смыва и тем самым снизить погрешность получаемых данных.

Главной проблемой при постановке эксперимента являлось отсутствие возможности регулировать интенсивность облучения образцов ультрафиолетовым светом, что приводило к низкой концентрации живых клеток на образце, тем самым, завышению антимикробных свойств самих образцов.

Для снижения погрешности, связанной с высокой интенсивностью УФ-излучения, решено провести серию экспериментов по определению степени воздействия ультрафиолета на клетки тест-бактерий. Для этого ночную культуру бактерий *E. coli* (концентрация живых клеток не менее  $10^6$  КОЕ/мл) в количестве 10 мл вносили в чашку Петри и облучали при интенсивности ультрафиолетового излучения  $\sim 0,01$  мВт/см<sup>2</sup>. Через определенные промежутки времени (20, 30, 40, 60 минут) производили отбор клеточной суспензии и высеив ее методом Коха на питательный агар. Посевы инкубировали в течение суток, затем производили подсчет числа образовавшихся колоний. Результаты эксперимента представлены на графике (рисунок 2).

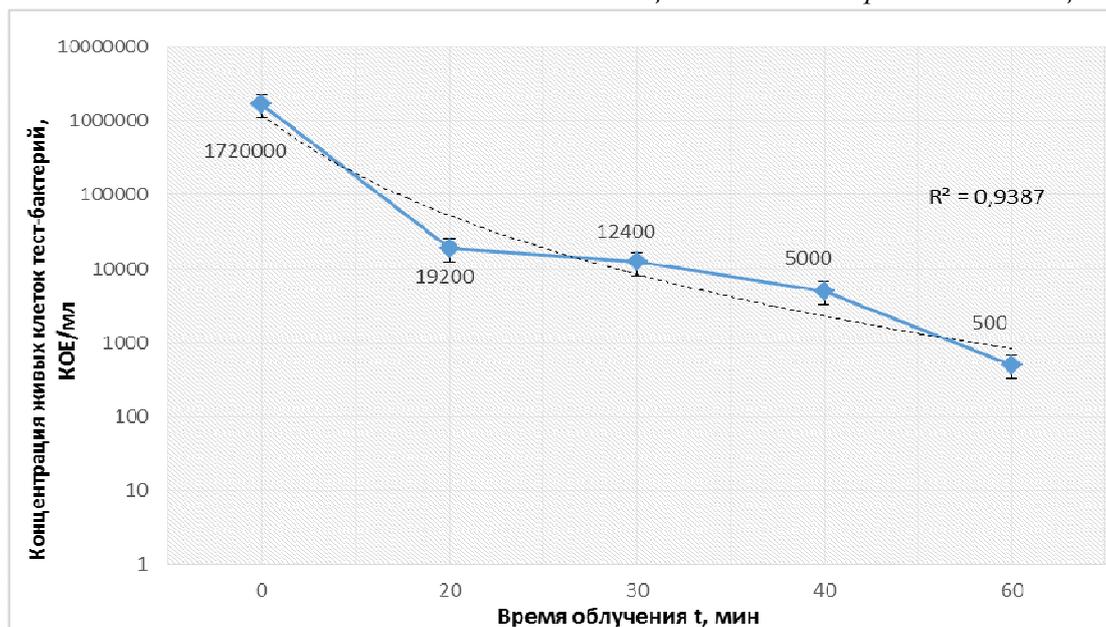


Рисунок 2 – Воздействие УФ-облучения на клетки *E. coli* ATCC 8739

Из графика, представленного на рисунке 2 следует, что спустя уже 20 минут облучения концентрация бактериальных клеток снижается на 2 порядка (с  $10^6$  до  $10^4$ ), а спустя 60 минут на 4 порядка (до  $10^2$ ). Исходя из этого можно сделать вывод о том, что облучение ультрафиолетом в течение 60 минут слишком сильно воздействует на бактериальные клетки, в связи с чем при постановке эксперимента по первоначальной методике не удавалось получить достоверные данные. Поэтому при проведении дальнейших исследований антимикробных свойств фотокаталитических покрытий, решено сократить время облучения до 30 минут.

Таким образом, в ходе исследования модифицированы метод проведения анализа антимикробных свойств фотокаталитических покрытий, удалось подобрать условия, способствующие повышению воспроизводимости результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технология производства печатных плат: учебное пособие // Капица М. С., Иванова Н. П., Жарский И. М. – Мн.: БГТУ, 2005. – 396 с.
2. Zhao Y., Li C., Liu X., Gu F., Jiang H., Shao W., Zhang L., He Y. Synthesis and optical properties of TiO<sub>2</sub> nanoparticles // Materials Letters, 2007. – V. 61.1. – P. 79–83.

УДК 579.64

Студ. Е.Ю. Смусь

Науч. рук. ассист. Д.С. Сергиевич; ассист. Е.Ф. Чернявская  
(кафедра биотехнологии, БГТУ)

## **ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА УДОБРИТЕЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ФОСФАТМОБИЛИ- ЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЕННЫХ БАКТЕРИЙ**

Фосфор входит в состав таких важных молекул, как ДНК, РНК, АТФ, фосфолипиды и некоторые коферменты. При его недостатке в растениях тормозится синтез белков и углеводов, происходит задержка роста, наблюдается заметное снижение урожая.

Иммобилизованный фосфор содержится в почве в нерастворимых минеральных комплексах, которые активно образуются после частого применения химических удобрений [1], а также в составе органических веществ. Наибольшую ценность в агрохимии представляют доступные растениям, т.е. растворимые соединения фосфора [2].

Мобилизовать фосфор из труднодоступных соединений железа, алюминия и кальция способны микроорганизмы многих видов. Они широко распространены в агроэкосистемах, а на их фосфатмобилизующую способность оказывают влияние многие факторы: температура, источники углерода, азота, концентрация железных руд, другие минеральные элементы [3].

Целью исследования являлось изучение влияния компонентов удобрительной композиции на фосфатмобилизующую активность почвенных бактерий.

Для изучения влияния компонентов использовали питательную среду, состав которой основан на компонентах входящих в удобрительную композицию. Тест-культуру (штамм фосфатмобилизующих бактерий М10) выращивали при  $30\pm 1^\circ\text{C}$  и  $n=150 \text{ мин}^{-1}$  на термостатируемом шейкере-инкубаторе в жидкой питательной среде ГАА. Посевным материалом объемом 0,2 мл инокулировали качалочные колбы емкостью 50 мл с 20 мл среды, состоящей из следующих компонентов: глюкоза 4%, фосфориты Каратау, сульфат аммония, хлорид калия, в количестве, согласно плану эксперимента, и культивировали в течение трех суток при температуре  $30\pm 1^\circ\text{C}$ .

Анализ влияния состава питательной среды проводили с применением метода математического планирования эксперимента в два этапа:

- построение адекватной математической модели процесса путем связывания выходного параметра системы (количество раствори-

мого фосфата в культуральной жидкости) с входными – концентрациями компонентов (факторов) питательной среды в полных факторных экспериментах (ПФЭ) по плану  $3^3$  с их варьированием на трех количественных уровнях (верхнем «+», нижнем «-» и среднем «0»);

- нахождение собственно оптимального состава среды по схеме "крутого восхождения".

В качестве факторов варьирования использовали содержание в питательной среде: сульфата аммония (X1), фосфорита (X2), хлорида калия (X3). Уровни варьирования представлены в таблице 1, содержание остальных компонентов питательной среды зафиксировали на постоянном уровне.

**Таблица 1 – Уровни варьирования в полном факторном эксперименте**

Компонент среды (г/20 мл)	фактор	Верхний уровень «+»	Средний уровень «0»	Нижний уровень «-»
Сульфат аммония	X1	0,1	0,0505	0,001
Фосфорит	X2	0,1	0,0505	0,001
Хлорид калия	X3	0,1	0,0505	0,001

Для оценки корректности полученных результатов проводили статистическую обработку полученных данных.

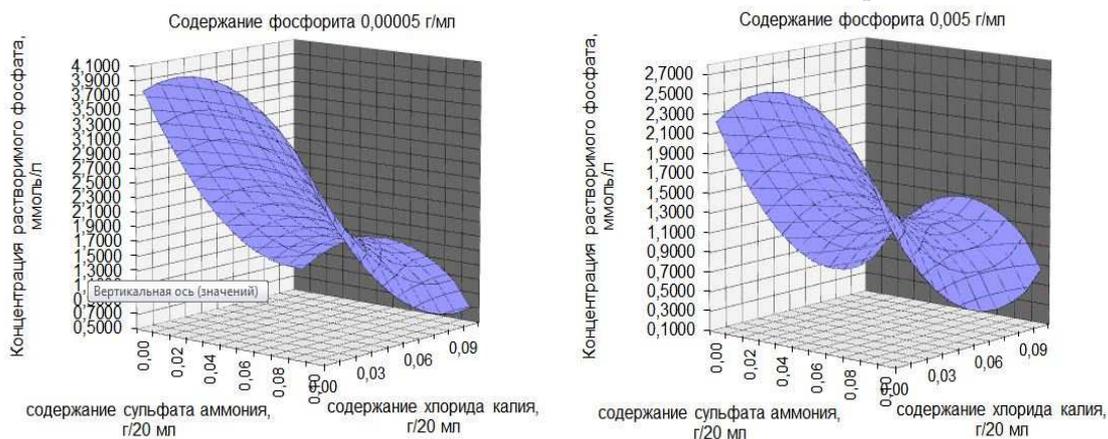
Согласно составленной матрице планирования многофакторного эксперимента, с трехкратной повторностью проведен 21 эксперимент с тест-культурой бактерий с различным варьированием изучаемых факторов (таблица 1).

В результате экспериментов вычислены коэффициенты уравнения регрессии – математической модели, отражающей зависимость функции Y1 (количество высвобождающегося растворимого фосфата в культуральной жидкости) от концентрации в ферментационной среде компонентов: сульфата аммония (X1), фосфорита (X2) и хлорида калия (X3).

Уравнение регрессии для штамма M10, с учетом значимости коэффициентов, выглядит следующим образом:

$$Y1=3,801+18,72 \cdot X1-56,79 \cdot X2+20,018 \cdot X3+91,55 \cdot X1X2+31,01 \cdot X1X3+123,39X2X3-290 \cdot X1^2-263,8 \cdot X2^2-354,5 \cdot X3^2$$

Используя полученное уравнение, построены поверхности отклика, отражающие влияние компонентов питательной среды на фосфатмобилизующую активность тест-бактерий (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Поверхности отклика**

Из представленных на рисунке 1 графиков видно, что фосфатмобилизирующую активность тест-культуры повышает снижение концентрации фосфорита до 0,00005 г/мл в сочетании с высокими концентрациями аммонийного азота и калия порядка 0,005 г/мл.

Используя встроенные в пакет MS Office Excel инструменты проведена оптимизация, в ходе которой выяснено, что максимум высвобождения фосфата в КЖ наблюдается при следующем содержании компонентов (г/мл): фосфорит – 0,00005; сульфат аммония – 0,05; хлорид калия – 0,05.

Полученные данные станут основой для разработки комплексного удобрения, способного стимулировать активность фосфатмобилизирующих почвенных бактерий, тем самым способствовать снижению количества используемых минеральных удобрений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Речкин А.И. Геохимическая роль микроорганизмов / А.И. Речкин, Г.Н. Ладыгина // Нижний Новгород, 2010. – 75 с.
2. 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.
3. Хамханов К.М. Основы планирования эксперимента: методическое пособие. Восточно-сибирский гос. технологический университет. – Улан-Удэ, 2001. – 94 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КВАСОВ БРОЖЕНИЯ**

Функциональные безалкогольные напитки – один из видов семейства функциональных продуктов, под которыми принято понимать напитки, содержащие ингредиенты, снижающие риск развития заболеваний, связанных с питанием, сохраняющие и улучшающие здоровье благодаря присутствию в их составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов, витаминов, микроэлементов, пищевых волокон, эубиотиков, биологически активных добавок, продуктов высоких технологий модифицированного химического состава [1].

Безалкогольные напитки брожения являются оптимальной формой пищевого продукта, используемого для обогащения рациона питания биологически активными веществами, благотворно влияющего на обмен веществ и иммунорезистентность организма человека.

Как продукт незавершенного спиртового и молочнокислого брожения сусла, приготовленного путем экстрагирования сухих веществ ржаного и ячменного солодов, а также несоложенных зерновых культур, квас является биологически сложным продуктом. Питательной основой хлебного кваса брожения служат углеводы (мальтоза, сахароза, глюкоза и фруктоза); белки, аминокислоты и аминный азот; витамины (С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР, D и др.); органические кислоты (молочная, винная, лимонная и др.). Ароматические и вкусовые вещества кваса обусловлены продуктами концентрированного зернового сырья и метаболизма дрожжей [2].

Гетероферментативные микроорганизмы, образуя молочную кислоту, летучие кислоты и углекислый газ, придают напитку приятные аромат и вкус.

Эти достоинства кваса определяют характер его потребления, в том числе способность утоления жажды, повышение и улучшение процессов пищеварения.

Таким образом, квасы брожения являются поликомпонентными, гетероферментативными функциональными напитками, обладающими многогранными профилактическими воздействиями на организм человека, улучшая обмен веществ.

При использовании растительного сырья в производстве квасов брожения, повышаются его питательные и лечебные свойства, а регулярное потребление таких продуктов снижает отрицательные послед-

ствия неблагоприятных факторов как внешней, так и внутренней среды организма.

В работе по разработке квасов брожения были использованы настои трав зверобоя, тысячелистника и душицы.

Трава зверобоя (*Hypericicherba*) является популярным лекарственным сырьем и применяется в качестве антимикробного, противовоспалительного и вяжущего средства, сырье зверобоя является основой для получения антидепрессантов. Растение содержит рутин, кверцетин, никотиновую и аскорбиновую кислоты, сахара, сапонины, каротин, холин, фитонциды, эфирное масло, горькие, смолистые и дубильные вещества. Этот богатый состав позволяет использовать зверобой для лечения многих заболеваний [3].

Трава тысячелистника (*Millefoliiherba*) известна своими лечебными свойствами и может выращиваться в условиях сада. Хотя в дикой природе оно также встречается в больших количествах. В траве тысячелистника содержится до 0,8 % эфирного масла, в состав которого входят моно- (цинеол, камфора) и сесквитерпеноиды. Найдены также флавоноиды, дубильные вещества, витамин К, полиацетилены, стерины, тритерпеновые спирты, а также вещества основного характера (бетоницин, ахиллеин, стахидрин и др.). Тысячелистник оказывает противовоспалительное, антиаллергическое, бактерицидное и ранозаживляющее действие, что обусловлено наличием в растении азуленов, дубильных веществ и флавоноидов. Настой тысячелистника используют для повышения свертываемости крови, однако он не вызывает образование тромбов [4].

Трава душицы (*Origanumherbae*). В ней содержится от 0,3 до 1 % эфирного масла, в состав которого входят: фенолы (до 44 %) – тимол и его изомер карвакрол, благодаря чему оказывает противовоспалительное, болеутоляющее и антисептическое действие; би- и трициклические сесквитерпены (12,5%), свободные спирты состава  $C_{10}H_{18}O$  (до 15 %). Кроме того, трава содержит дубильные вещества, аскорбиновую кислоту (в листьях до 565 мг %) и флавоноиды.

Благодаря богатому химическому составу и обширным лечебным свойствам данные травы эффективно используются в качестве настоев и являются ценным сырьем для приготовления функциональных напитков, а именно квасов брожения [4].

В начале работы были приготовлены настои растительного сырья следующим образом: растительное сырье – 200 г зверобоя на 1 л воды, 200 г тысячелистника на 1 л воды, 200 г душицы на 1 л воды – заливали 1 л очищенной воды, медленно нагревали и выдерживали на

водяной бане в течение 30 минут при температуре 60°C, после этого настаивали 4 часа, сливали настой, фильтровали, доливали водой до 1 л готового настоя травного сырья. В полученных настоях определяли показатели качества, представленные в таблице 1.

**Таблица 1 – Физико-химические показатели настоев растительного сырья**

Показатели	Настои растительного сырья		
	зверобоя	душицы	тысячелистника
СВ, %	2,52	2,79	1,93
Кислотность, к.ед.	22,3	15,7	10,35
Редуцирующие сахара, г	0,73	0,42	0,24
Дубильные вещества, г/дм <sup>3</sup>	3,22	9,33	1,63

Таким образом, из таблицы 1 следует, что данные растительные настои могут быть использованы для приготовления квасов брожения.

Далее готовили квасное сусло разбавлением водой, нагретой до температуры 30°C, концентрата квасного сусла (ККС) в 2 раза, вносили хлебопекарные дрожжи, разведенные водой с температурой 30°C до сметанообразного состояния, сахарный сироп концентрацией 60–65 масс. %. Затем в сусло вносили приготовленные настои и сбраживали при температуре 25°C в течение 24 часов. Готовый квас фильтровали, пастеризовали и охлаждали.

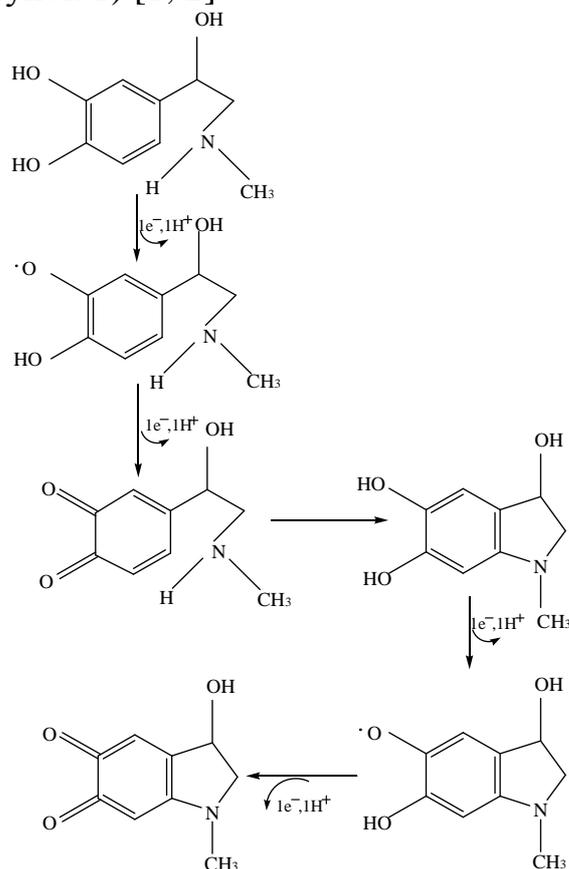
Получили травный квас со следующими органолептическими характеристиками: однородная прозрачная жидкость коричневого цвета, с выраженным травным ароматом, кисло-сладким вкусом, а также физико-химическими показателями: массовая доля сухих веществ – 5,62 %; кислотность – 3,8 к.ед., массовая доля спирта – 1,2 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Функциональные безалкогольные напитки / Т. М. Тананайко [и др.] // Наука и инновации. – 2017. – №5. – С. 28–30.
2. Квасы брожения – напитки, содержащие биологически активные вещества / М. Н. Елисеев [и др.] // Пиво и напитки. – 2006. – №3. – С. 32.
3. Народная медицина [Электронный ресурс] // Настой зверобоя. – Режим доступа: <https://www.rasteniya-lecarstvennie.ru/12825-otvar-nastoy-nastoyka-travy-zveroboya-deystvie-polza-i-vred-prigotovlenie.html>. Дата доступа: 01.04.2019.
4. Пустырский, И. Н. Универсальная энциклопедия лекарственных растений / сост. И. Н. Пустырский, В. Н. Прохоров – Мн.: Книжный Дом; М.: Махаон, 2000. – 656 с.

## ИЗУЧЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА АУТООКИСЛЕНИЯ АДРЕНАЛИНА

Окисление адреналина до адренохрома сопровождается, как известно, одноэлектронным восстановлением кислорода и связан с образованием супероксидных радикалов ( $O_2^{\cdot-}$ ): высвобождающийся электрон восстанавливает растворенный в среде кислород. Кроме того, в определенных условиях, окисление адреналина может происходить по так называемому хиноидному пути с образованием хинонов до адренохрома, в результате чего происходит генерация активных форм кислорода (рисунок 1) [1, 2].



I – адреналин, II – адреналинсемихинон, III – адреналинхинон,  
IV – лейкоадренохром, V – адренохромсемихинон, VI – адренохром

**Рисунок 1 – Образование адренохрома и его производных  
в процессе аутоокисления адреналина по хиноидному пути**

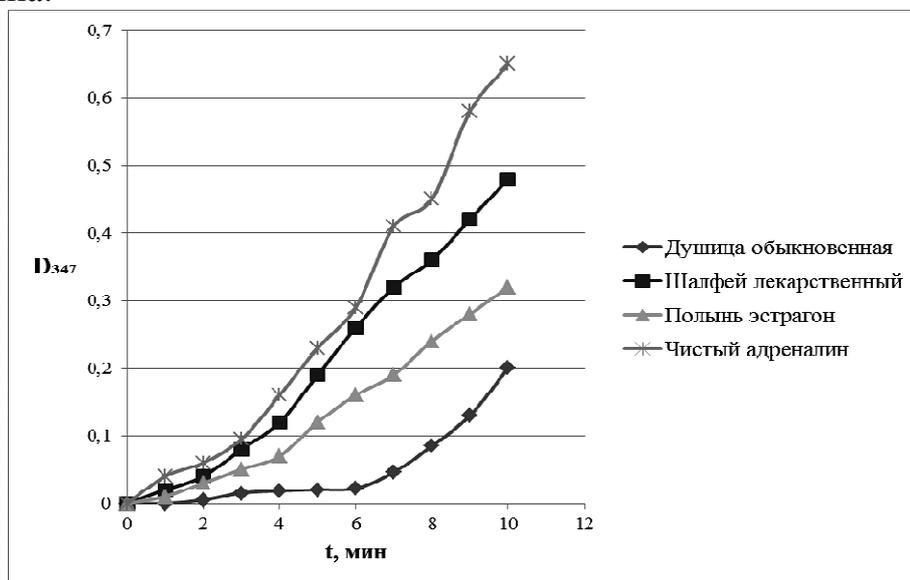
В данной работе был использован метод оценки антиоксидантной активности антиоксидантов на начальных этапах свободно-радикального окисления по ингибированию супероксидрадикала в реакции аутоокисления адреналина в щелочной среде при длине волны 347 нм [3].

В качестве объекта исследования использовали готовое сырье надземной части трёх видов лекарственных растений из коллекции ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»: душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.), полыни эстрагон (*Artemisia dracunculus* L.) и шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.). Об антиоксидантной активности исследуемого растительного сырья судили по их способности ингибировать аутоокисление адреналина *in vitro* и тем самым предотвращать образование активных форм кислорода. Антиоксидантную активность (АА) исследуемых препаратов выражали в процентах ингибирования аутоокисления адреналина и вычисляли по формуле:

$$AA = \frac{(D_1 - D_2)}{D_1} \cdot 100\% ,$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – оптическая плотность в отсутствии и в присутствии исследуемых экстрактов соответственно.

На рисунке 2 представлена динамика реакции аутоокисления адреналина.



**Рисунок 2 – Зависимость оптической плотности ( $D_{347}$ ) от времени реакции аутоокисления адреналина ( $t$ ) в отсутствии и в присутствии экстрактов лекарственных растений**

Антиоксидантная активность (АА) растительных экстрактов рассчитывается как относительная величина и определяется соотношением экстинкций при определенном времени протекания реакции. Для оценки влияния растительных экстрактов на процесс аутоокисления адреналина было выбрано разное время экспозиции: 3, 5 и 10 мин. Предпочтение данному временному интервалу обусловлено наиболее высокой интенсивностью образования продукта окисления адреналина в данный промежуток времени. Результат исследования антиоксидантной активности растительных экстрактов представлен в таблице.

**Таблица – Антиоксидантная активность растительных экстрактов в зависимости от времени экспозиции**

Исследуемое растительное сырье	АА, %		
	3 мин	5 мин	10 мин
Душица обыкновенная ( <i>Origanum vulgare</i> L.)	84	91	69
Полынь эстрагон ( <i>Artemisia dracunculoides</i> L.)	47	48	51
Шалфей лекарственный ( <i>Salvia officinalis</i> L.)	16	17	26

Расчет антиоксидантной активности был проведен по вышепредставленной формуле. Величина АА более 10% свидетельствует о наличии антиоксидантной активности. Результат подтверждает, что все исследуемые растительные экстракты проявляют высокую антиоксидантную активность, однако наибольшим потенциалом обладает экстракт душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.), которая может быть использована в фармацевтической промышленности для производства лекарственных препаратов с антиоксидантными свойствами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bindoli A., Rigobello M.P., Galzigna L. (1989) *Toxicol. Lett.*, 48. – P. 3–20.
2. Marques F., Duarte R.O., Moura J.J., Vicho M.P. (1996) *Biopl. Signals.*, 5. – P. 275–282.
3. Способ определения антиоксидантной активности супероксиддисмутазы и химических соединений: пат. 2144674 Россия, МПК G01N33/52, G01N33/68 / Т.В. Сирота; заявл. 24.02.1999; опубл. 20.01.2000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.freepatent.ru/patents/2144674/](http://www.freepatent.ru/patents/2144674/). – Дата доступа: 15.04.2018.

УДК 615.322

Студ. А.Ю. Бесараб

Науч. рук.: ст. науч. сотр. Е.В. Феськова; зав. каф. В.Н. Леонтьев  
(кафедра биотехнологии, БГТУ)**ПОДБОР МЕТОДИК И ОЧИСТКА ЭКСТРАКТОВ  
ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ОТ ХЛОРОФИЛЛА**

Хлорофилл – зеленый пигмент, содержащийся в хлоропластах растений и придающий им зеленый цвет. Существуют два типа хлорофилла: а и b, которые различаются по структуре боковых цепей (в хлорофилле а это  $\text{CH}_3$ , в b-изомере –  $\text{CHO}$ ) и в максимумах поглощения в электронных спектрах. В естественных условиях соотношение хлорофиллов соответствует пропорции  $3 : 1 = a : b$  [1].

Объектом исследований являлись лекарственные растения из коллекции ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» урожая 2018 года, содержащие флавоноиды, обладающие регенеративными свойствами: цмин песчаный (*Helichrysum arenarium*) (кемпферол-3- $\beta$ -D-глюкопиранозид) и воробейник лекарственный (*Lithospermum officinale*) (изокверцитрин). Экстракцию фенольных соединений проводили 50%-ым этиловым спиртом в течение 30 мин при температуре  $65^\circ\text{C}$ , соотношение сырье: экстрагент – 1:25. После завершения экстракции образцы фильтровали через бумажные фильтры и упаривали на роторном испарителе досуха.

Необходимость очистки растительных экстрактов от хлорофилла обусловлена тем, что зеленовато-коричневый или бурый цвет многих неочищенных растительных экстрактов снижают их товарную ценность. Для создания препарата, стимулирующего регенерацию тканей на основе растительного сырья, необходимо избавиться от балластных веществ из растительных экстрактов, в частности от хлорофилла.

Отработку методов разделения экстрактов от хлорофилла проводили на экстракте воробейника лекарственного (*Lithospermum officinale*), целевым компонентом которого является изокверцитрин. Для этого применяли различные подходы: жидкость-жидкостная экстракция; очистка растительных экстрактов фильтрованием через слой силикагеля на фильтре Шотта; адсорбционная хроматография на силикагеле; гель-хроматография на Акрилекс П-2. Контроль очистки экстрактов от хлорофиллов осуществляли по электронным спектрам, зарегистрированным в диапазоне длин волн 250–900 нм на спектрофотометре SPECORD 200 (Analytik Jena, Германия), методами ТСХ на пластинках TLC Silica gel 60 (MERCK, Германия) и ВЭЖХ-МС на хромато-масс-спектрометре (Waters, США) с использованием колонки BDS HYPERSIL  $\text{C}_{18}$  250×4,6 мм, 5 мкм (Thermo Electron Corporation,

США). Очистку экстрактов от хлорофиллов с помощью жидкость-жидкостной экстракции проводили с использованием двух экстрагентов (*n*-бутилового спирта и метиленхлорида). Для этого навеску высушенного спиртового экстракта растворяли в 10 мл дистиллированной воды (60°C), фильтровали через бумажный фильтр, добавляли 10 мл *n*-бутилового спирта или метиленхлорида и хорошо встряхивали [2]. С помощью делительной воронки отделяли органическую фазу. Затем водную и органическую фазы упаривали на роторном испарителе досуха, к сухому остатку добавляли 5 мл дистиллированной воды и регистрировали электронные спектры.

Результаты проведенной жидкость-жидкостной экстракции и ВЭЖХ-МС показали, что при обработке *n*-бутиловым спиртом экстракта воробейника лекарственного хлорофиллы переходят в органическую фазу, куда в большем количестве переходит и целевой компонент воробейника лекарственного - изокверцитрин. Следовательно, обработка *n*-бутиловым спиртом подходит для очистки от хлорофиллов, но не применима к исследуемым нами экстрактам.

В случае экстракции метиленхлоридом изокверцитрин не был обнаружен в органической фазе, а наблюдался в водной фазе, в которой содержался и хлорофилл. В связи с чем, можно сделать вывод о неэффективности экстракции метиленхлоридом для очистки растительных экстрактов от хлорофиллов.

Очистку растительных экстрактов фильтрованием через слой силикагеля на фильтре Шотта проводили этиловым спиртом с возрастающей концентрацией. В собранных фракциях регистрировали электронные спектры. Полученные результаты показали, что максимумы поглощения при 350 нм и 670 нм (рисунок 1), характерные для изокверцитрина и хлорофиллов соответственно, наблюдаются в одних и тех же собранных фракциях, что свидетельствует о том, что разделение хлорофилла от изокверцитрина не произошло.

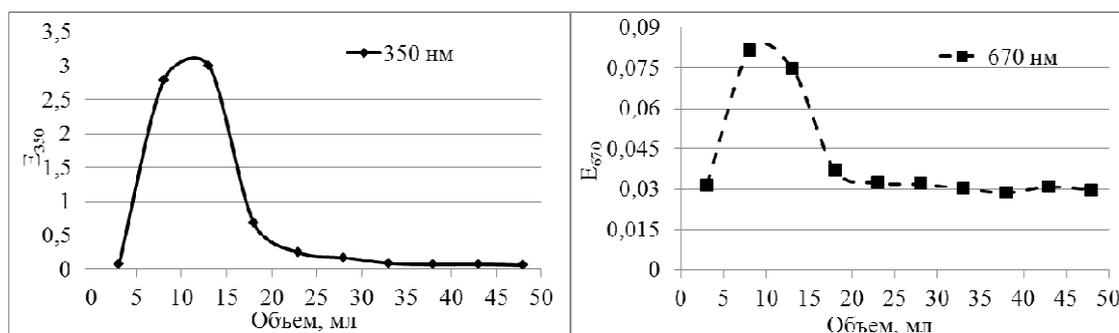


Рисунок 1 – Профили элюирования, построенные на основании измерения экстинкции при  $\lambda=350$  нм и  $\lambda=670$  нм

Проведенный далее ТСХ анализ подтвердил это предположение. Адсорбционная хроматография на силикагеле проводилась метиловым спиртом и также не дала положительных результатов.

Очистку экстракта воробейника лекарственного от хлорофилла с помощью гель-хроматографии на Акрилекс П-2 проводили следующим образом: навеску сухого экстракта воробейника лекарственного растворяли в 3 мл дистиллированной воды, фильтровали и вносили в колонку. В качестве элюента использовали дистиллированную воду. Во фракциях, собранных на выходе из колонки, регистрировали спектры поглощения, на основании которых фракции объединяли и концентрировали на роторном испарителе, затем проводили ТСХ (элюент этилацетат : метанол : муравьиная кислота = 10 : 2 : 1) и ВЭЖХ-МС анализы.

По результатам ТСХ наблюдали чёткие пятна, указывающие на наличие изокверцитрина в определённых фракциях, а также на отсутствие в них хлорофилла, что было подтверждено ВЭЖХ-МС. Таким образом, Акрилекс П-2 обеспечивает необходимую очистку экстракта воробейника лекарственного от хлорофиллов.

По полученным в ходе исследований результатам аналогично с экстрактом воробейника лекарственного провели очистку экстракта цмина песчаного (*Helichrysum arenarium*), целевым компонентом которого являлся кемпферол-3-β-D-глюкопиранозид, от хлорофиллов с помощью гель-хроматографии на Акрилекс П-2.

По результатам ТСХ (элюент изопропиловый спирт) наблюдали чёткие пятна, указывающие на наличие кемпферол-3-β-D-глюкопиранозид в определённых фракциях, и на отсутствие в этих фракциях хлорофилла, что было подтверждено ВЭЖХ-МС.

Таким образом, нами подобран способ очистки экстрактов воробейника лекарственного (*Lithospermum officinale*) и цмина песчаного (*Helichrysum arenarium*) от хлорофиллов, основанный на гель-хроматографии на носителе Акрилекс П-2.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хлорофилл [Электронный ресурс] / foodandhealth.ru. – Режим доступа: <https://foodandhealth.ru/komponenty-pitaniya/hlorofill/> – Дата доступа: 02.03.2019.

2. Navaz Kharazian Identification of flavonoids in leaves of seven wild growing *Salvia* L. (Lamiaceae) species from Iran // Progress in Biological Sciences, 2013. – Vol. 3, no. 2. – P. 81–98.

УДК 581.631+12.1

Магистрант А.В. Боборикина;

учащ. А.В. Пархомчук; учащ. А.Н. Казбекова

Науч. рук. доц. Е. А. Флюрик (кафедра биотехнологии, БГТУ);

учитель биологии С.К. Балгина (Назарбаев Интеллектуальная школа)

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ НОВОГО ФИТОЧАЯ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

**Введение.** С давних времён люди использовали травы, которые произрастали рядом с их жильём. Собирая и высушивая цветки и листья растений, заваривая полученное растительное сырьё, люди лечили различные болезни. С течением времени разнообразие растительного сырья в сборах увеличилось, благодаря расширению знаний о биологически активных веществах растений.

В настоящее время одной из основных задач любого государства является сохранение здоровья его населения. Способов достижения указанной задачи много, одним из которых является правильное питание.

Например, в соответствии с Государственной программой индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015-2019 годы большое внимание уделяется увеличению использования отечественных производственных мощностей, а также сырьевых ресурсов и научно-технического потенциала страны [1]. В Республике Беларусь также имеется целый ряд государственных программ, например, Государственная программа «Здоровье народа и демографическая безопасность Республики Беларусь» на 2016-2020 годы [2].

На основании всего выше изложенного мы предположили, что внедрение на отечественные рынки фиточайной продукции на основе местного растительного сырья будет весьма актуально.

**Целью** настоящего исследования являлось изучение предпочтений и пожеланий потребителей к новому фиточаю на основе местного растительного сырья, а также обработка полученных данных для совершенствования продукции с учётом мнения потребителей.

Для оценки перспектив внедрения фиточайной продукции на основе местного растительного сырья на рынках наших стран, было проведено социологическое исследование среди потенциальных потребителей фиточая.

Все необходимые данные для разработки анкет были взяты на сайте Министерства Национальной Экономики Республики Казахстан и Национального статистического комитета Республики Беларусь [3-4].

**Объекты исследования** – анкеты, полученные от респондентов.

**Методы исследования.** Сбор информации проводили с помощью метода анкетирования.

**Основная часть.** Для рынка Республики Беларусь разрабатывали фиточай на основе листьев голубики (*Vaccinium*), данный вид растения был выбран в связи с тем, что на кафедре биотехнологии БГТУ уже несколько лет проводятся исследования по изучению возможности максимального использования биотехнологического потенциала голубики. Голубика является перспективным лекарственным растением, т. к. она обладает множеством полезных свойств. На данный момент белорусские производители практически не используют голубику для производства фиточайной продукции. При этом её культивирование на территории Республики Беларусь с каждым годом увеличивается.

Для рынка Республики Казахстан, разрабатываемый фиточай содержал ряд, произрастающих на её территории растений (цветы ромашки аптечной (*Matricaria chamomilla* L.), плоды укропа огородного (*Anethum* L.), листья малины обыкновенной (*Rubus idaeus* L.), листья чёрной смородины (*Ribes nigrum* L.) и плоды шиповника собачьего (*Rosa canina* L.)).

**Результаты и их обсуждение.** Для проведения опроса в Республике Беларусь было выделено 3 половозрастные группы: 1 – мужчины и женщины в возрасте от 18 до 29 лет; 2 – мужчины и женщины в возрасте от 30 до 49 лет; 3 – мужчины и женщины в возрасте от 50 до 69 лет. Для Республики Казахстан была выделена только одна половозрастная группа: мужчины и женщины в возрасте от 14 до 69 лет. Данное разделение было выполнено в соответствии со статистическими данными [3-4].

В результате обработки анкет удалось установить следующее: большинство белорусских и казахских респондентов ответили, что знакомы с фиточайной продукцией (81% и 63% соответственно). Однако в рацион питания он входит у меньшей части опрошенных (42% и 22% соответственно), при этом среди белорусских респондентов большинство из утвердительно ответивших были женщины второй и третьей возрастной группы (57% и 62% соответственно). В то время как в Казахстане около половины из опрошенных плохо осведомлены о пользе фиточайной продукции и вообще не включают её в свой рацион.

На вопрос «Важно ли для вас наличия указания «Зроблена ў Беларусі/Казахстане» на упаковке?» большинство респондентов ответили, что это не важно (52%). Однако необходимо отметить, что основная часть опрошенных в Беларуси (82%) предпочли бы, чтобы в

фиточай, помимо листьев голубики, были добавлены ягоды, цветки, листья других растений.

На вопрос «За какую цену вы готовы приобрести данный продукт?» большинство опрошенных предпочли бы заплатить не более 1,6 долл. США за такой продукт (52% – белорусские респонденты, 56% – казахские).

**Заключение.** Из представленных результатов следует, что появления на белорусском/казахском рынках новых фиточаёв, будет пользоваться спросом. Однако для того чтобы при внедрении на рынках, разрабатываемые фиточаи пользовались спросом у потребителей, необходимо проводить дополнительные маркетинговые мероприятия, такие как: реклама в торговых точках, просветительская работа среди населения и др.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Программа индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015-2019 гг. [Электронный ресурс] / Издательство «Креативная экономика». – 2019. – Режим доступа: <https://creativeconomy.ru/lib/10048>. – Дата доступа: 06.04.2019.

2. Государственная программа «Здоровье народа и демографическая безопасность Республики Беларусь» на 2016-2020 гг. [Электронный ресурс] / Министерство здравоохранения Республики Беларусь. – 2017-2019. – Режим доступа: <http://www.government.by/upload/docs/filecdf0f8a76b95e004.PDF>. – Дата доступа: 06.04.2019.

3. Официальная статистическая информация [Электронный ресурс] / Министерство Национальной Экономики Республики Казахстан. Комитет по Статистике. Казахстан. – 2019. – Режим доступа: [http://stat.gov.kz/faces/wcnav\\_externalId/homeNumbersPopulation?\\_afLoop=3212721971537430#%40%3F\\_afLoop%3D3212721971537430%26\\_a df.ctrl-state%3D1ahcjmscba\\_41](http://stat.gov.kz/faces/wcnav_externalId/homeNumbersPopulation?_afLoop=3212721971537430#%40%3F_afLoop%3D3212721971537430%26_a df.ctrl-state%3D1ahcjmscba_41). – Дата доступа: 13.03.2019.

4. Численность населения на 1 января 2019 г. и среднегодовая численность населения за 2018 год по Республике Беларусь в разрезе областей, районов, городов и поселков городского типа [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – 1998-2019. – Режим доступа: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_bulletin/index\\_13322/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_bulletin/index_13322/). – Дата доступа: 13.03.2019.

УДК 665.585.56

Студ. М.В. Коханская; асп. Н.В. Бушкевич

Науч. рук.: проф. В.С. Болтовский

(кафедра химической переработки древесины, БГТУ);

доц. Е.А. Флюрик (кафедра биотехнологии, БГТУ)

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ «ВОДА-АНИОННЫЙ ПАВ-НАСТОЙКА ПЛОДОВ / ЛИСТЬЕВ ГОЛУБИКИ ВЫСОКОРОСЛОЙ»**

**Введение.** Поверхностно-активные вещества играют важную роль в процессах пенообразования, диспергирования и удаления загрязнений, поэтому они широко используются в составе гигиенических моющих средств. Повышение требований к дерматологической мягкости, к эстетическому оформлению и к косметическим аспектам повлекло определенные изменения в поверхностно-активной основе, расширило набор кондиционирующих и биологически активных компонентов [1].

**Целью работы** являлось изучение свойств водных растворов, содержащих смесь анионного ПАВ и настойку плодов или листьев голубики высокорослой.

В качестве анионного ПАВ использовали лауретсульфат натрия, который наиболее широко применяется в составе пеномоющих средств, а в качестве настойки – водную настойку плодов или листьев голубики.

**Объектами исследования** стали системы «вода-анионный ПАВ-настойка». Для получения настойки использовали высушенные и измельченные листья или плоды голубики высокорослой.

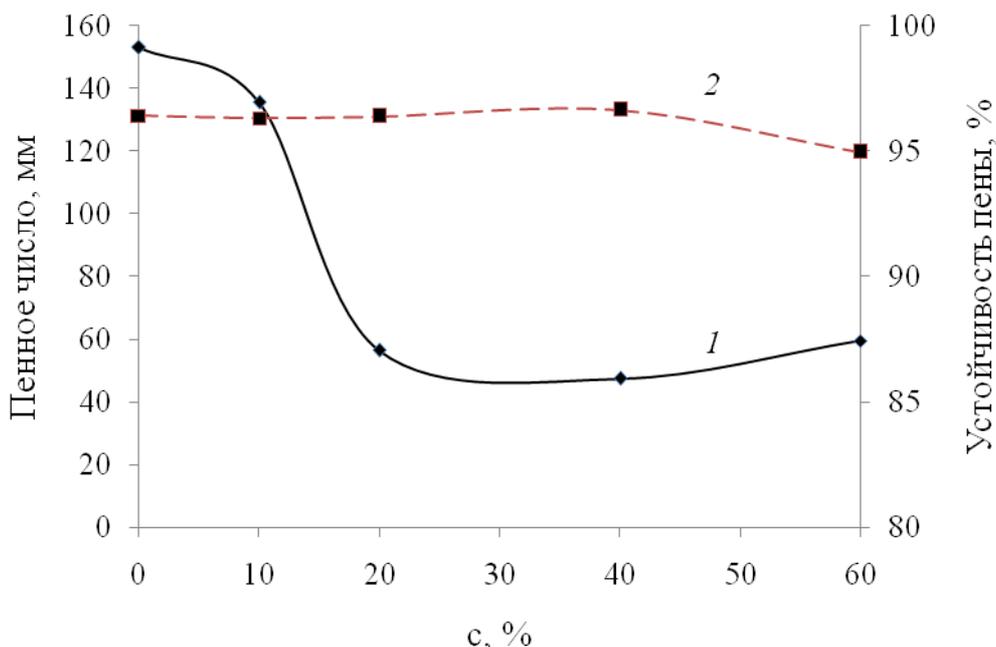
**Предмет исследования** – зависимость пенообразующей способности полученных смесей от количества анионного ПАВ и настойки.

**Методы исследования.** Оценка пенообразующих свойств проводили по пенному числу и устойчивости пены.

**Результаты и их обсуждение.** Исследования проводили на приборе Росс-Майлса при температуре 18°C. Концентрацию ПАВ в водных растворах выбрали равной 0,02% (в связи с тем, что при данной концентрации обеспечиваются пенообразующие свойства, предъявляемые к гигиеническим моющим средствам). Концентрацию настоек варьировали в диапазоне 10–60%.

Проведенные исследования показали (рисунок 1), что увеличение количества настойки плодов голубики в растворе до 40% приводит к существенному снижению пенообразования (пенное число уменьшается практически в три раза), а при дальнейшем увеличении

содержания настойки в растворе пенообразующая способность изменяется уже незначительно. Кроме того, необходимо отметить, что содержание настойки плодов в системе практически не влияет на устойчивость полученных пен, данный показатель составляет около 96%. Анализ кинетики стабильности пен в течение 15 мин показал, что уменьшение высоты столба пен происходило на 2-6 мм. Это говорит о том, что полученные пены можно характеризовать как высокостабильные.

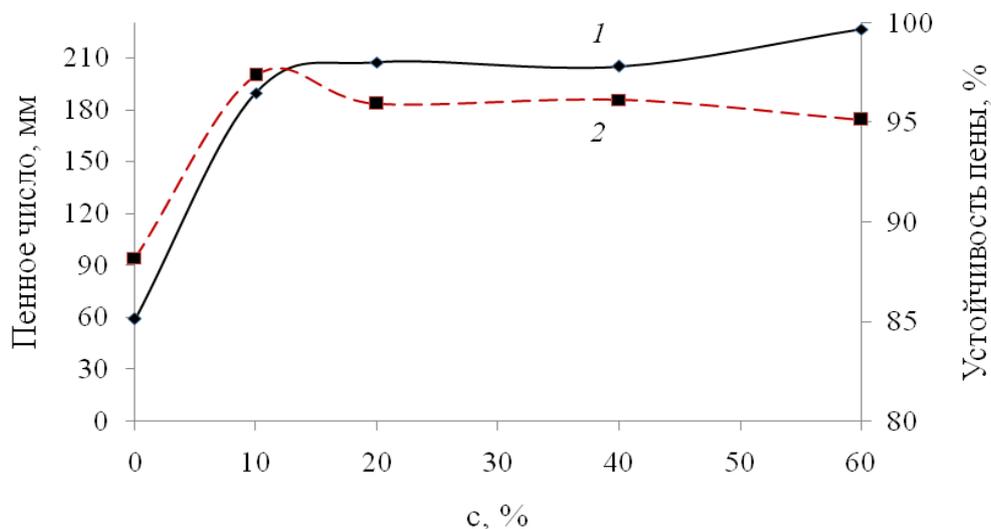


**Рисунок 1 – Зависимость пенного числа (1) и устойчивости пены (2) от концентрации настойки плодов голубики в растворе**

Значение рН исследуемых растворов с увеличением содержания настойки плодов снижалось с 5,51 до 3,15, что объясняется наличием в настойке плодов кислот. Так как значение рН для гигиенических моющих средств должно составлять от 5,5 до 8,0, поэтому величину рН исследуемых растворов корректировали до требуемых значений добавлением 10%-ного раствора щелочи.

Из рисунка 2 видно, что увеличение количества настойки листьев голубики в растворе приводит к увеличению пенного числа, достигая своего максимума при концентрации 60%. Максимальное значение пенного числа наблюдается в растворе, не содержащем настойки листьев. Анализ кинетики стабильности пен в течение 15 мин показал, что уменьшение высоты столба пен происходило на 5,5–9,5 мм. Максимальное значение устойчивости наблюдается в растворе с кон-

центрацией настойки листьев 10%. Однако все полученные пены являются высокостабильными и их устойчивость находится в интервале 88–98%.



**Рисунок 2 – Зависимость пенного числа (1) и устойчивости пены (2) от концентрации настойки листьев голубики в растворе**

Значение рН данных растворов с увеличением содержания настойки снижалось с 6,08 до 3,51, что также объясняется наличием в настойке листьев кислот. Значение рН исследуемых растворов корректировали до 5,50–5,80 добавлением 10%-ного раствора щелочи.

**Заключение.** По требованиям, предъявляемым к гигиеническим моющим средствам в соответствии с СТБ 1675-2006 [2], пенное число шампуней должно составлять не менее 100 мм, а устойчивость пен – не ниже 80%. Для обеспечения данных показателей концентрация настойки ягод голубики высокорослой в водном растворе лауретсульфата натрия должна быть не более 10%, а концентрация настойки листьев – не менее 10%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кривова, А.Ю. Технология производства парфюмерно-косметических продуктов / А.Ю. Кривова, В.Х. Паронян. – М.: ДеЛи-принт, 2009. – 668 с.
2. Изделия косметические гигиенические моющие. Общие технические условия: СТБ 1675-2006. – Введ. 12.09.06. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2006. – 14 с.

УДК 579.676

Студ. А.Н. Наврость; студ. В.М. Трапезникова

Науч. рук. ассист. Е.Ф. Чернявская (кафедра биотехнологии, БГТУ)

### АНАЛИЗ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ РАЗНЫХ СТРАН, И ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К ФАГОВОЙ ИНФЕКЦИИ

Увеличенные сроки выработки продуктов, сниженное качество продукта, отравления продуктом, а следовательно убытки предприятия – всё это последствия фаговой инфекции на предприятии. Действенным подходом для борьбы с фаговой инфекцией считается использование в технологических процессах фагоустойчивых молочнокислых бактерий (МКБ). С начала 21-го века активно изучается механизм адаптивного иммунитета бактерий CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats – регулярные короткие палиндромные кластерные повторы). Между идентичными повторами располагаются отличающиеся друг от друга фрагменты ДНК – спейсеры, многие из которых соответствуют участкам геномов вирусов, паразитирующих на данной бактерии. При попадании вируса в бактериальную клетку он обнаруживается с помощью специализированных Cas-белков (CRISPR-associated sequence – последовательность, ассоциированная с CRISPR), связанных с CRISPR РНК. Если фрагмент вируса «записан» в спейсере CRISPR РНК, Cas-белки разрезают вирусную ДНК и уничтожают ее, защищая клетки от инфекции [1]. На начальных этапах исследования выделяли молочнокислые бактерии из продукции разных регионов РБ и других стран. Результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Выделенные штаммы молочнокислых бактерий**

Источник выделения	Страна происхождения	Выделенные штаммы
Рисовый молочный пудинг	Норвегия	1.1, 1.2, 1.3
Йогурт «Veslemø»	Норвегия	3.1, 3.2, 3.3
Йогурт «Movenpick»	1. ШВЕЙЦАРИЯ	4.1, 4.2, 4.3
Сметана	С частного подворья, Брестская область	ДВ2, ДВ4
Йогурт «Савушкин»	г. Брест	Й1, Й2, Й3, Й4, Й5
Йогурт «Vasome Greeki light»	Польша	ЙП1, ЙП2, ЙП3
Сливки	С частного подворья, Брестская область	В1, В2, В3
Сметана	С частного подворья, Брестская область	К1, К2, К3
Сметана	С частного подворья, Брестская область	С2, С3, С4
Молоко	С частного подворья, Брестская область	М1, М2

По предварительной идентификации штаммов 3 из 29 – *Enterococcus sp.*, 6 – *Streptococcus sp.*, 20 – *Lactococcus sp.* Полученные данные отражают предпочтительное использование в заквасках кисломолочных продуктов бактерий родов *Lactococcus* и *Streptococcus*.

Проверку на фаги проводили как на коллекционных, так и выделенных штаммах МКБ (таблица 2).

Таблица 2 – Фагоустойчивость анализируемых МКБ

Штамм	Источник фагов
023.2	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, 023.22ФЯ1, <b>023.2ФЯ3</b>
023.21	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
023.22	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, <b>023.22ФЯ1</b> , 023.2ФЯ3
080.1	ФЯ1, <b>ФЯ2</b> , ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, 023.22ФЯ1, 023.2ФЯ3
1a	<b>ФЯ1</b> , ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, 023.22ФЯ1, 023.2ФЯ3, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
19	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
080.11	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, 023.22ФЯ1, 023.2ФЯ3
B2	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
B3	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
7	ФЯ1, <b>ФЯ2</b> , ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
17	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
411, 511, Сыр 1	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, 023.22ФЯ1, 023.2ФЯ3, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
M2	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
C2	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
C3	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
K2	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
5.8	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>
5.8 3/1	ФЯ1, ФЯ2, ФЯ3, Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф <sub>Акт</sub> , Ф <sub>д.подв.</sub>

Примечание: жирным шрифтом выделены те образцы, которые содержат фаги.

Выявлено всего несколько пар фаг-хозяин, поэтому принято решение сузить количество штаммов и увеличить количество источников выделения фагов. В качестве штамма-хозяина выбрали коллекционный штамм 411.

В качестве источников фагов использовали различную молочно-кислую продукцию, полученную из различных регионов РБ. Всего проверено более 100 образцов и выявлено шесть, содержащих фаговые частицы, поражающие штамм тест-культуры 411. На рисунке 1 представлены результаты взаимодействия вытяжки творога мягкого «Савушкин продукт» с культурой 411.



**Рисунок 1 – Взаимодействие фага N-18 с чувствительной тест-культурой**

На основании полученных данных отобрали шесть фагов, составляющие пару фаг-хозяин с тест-культурой. В ходе дальнейшего исследования эти пары будут использованы в качестве контрольных при поиске МКБ, нечувствительных к отобранным фагам и содержащих CRISPR-систему.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Horvath, P., Barrangou, R. CRISPR/Cas, the immune system of bacteria and archaea // Science, 2010. – V. 327, P. 167–170.

УДК 575.79

Студ. Д.В. Николенко, А.С. Калинец  
Науч. рук. ассист. Е.Ф. Чернявская  
(кафедра биотехнологии, БГТУ)

#### **ОЦЕНКА АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ ХАЛКОНОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИМ МИКРООРГАНИЗМАМ**

Известно, что большинство микроорганизмов существуют во внешней среде, как правило, не в виде изолированных клеток, а в форме биопленок [1]. Микроорганизмы образуют биопленки на любых биотических и абиотических поверхностях, что создает большие проблемы в медицинской практике и в различных областях хозяйственной деятельности. Как теперь установлено, биопленки являются одним из патогенетических факторов формирования хронических инфекционных процессов. В первую очередь это касается заболеваний,

связанных с использованием имплантируемых устройств (катетеров, протезов, искусственных клапанов сердца). В естественных местах обитания микроорганизмов биопленки могут вызвать серьезное ухудшение экологической обстановки.

Микроорганизмы в составе биопленки дополнительно имеет защиту и множественные механизмы для выживания, такие как недоступность для фагоцитоза, ультрафиолетового излучения, вирусной атаки, обезвоживания, а также устойчивость к антибиотикам и действию иммунной системы хозяина [2].

Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что самым негативным последствием образования биопленок является их устойчивость к широко применяемым антимикробным веществам, в частности антибиотикам, и тем самым возникновение хронических заболеваний. В настоящее время синтезируется большое количество новых антимикробных веществ, которые обладают антимикробной активностью по отношению к бактериям в составе биопленок. Одними из перспективных веществ являются халконы, которые представляют собой 1,3-дифенил-2-пропен-1-оны, принадлежащие к семейству флавоноидов и выступающие в качестве синтетических предшественников различных флавоноидов и изофлавоноидов, в которых два ароматических ядра связаны тремя атомами углерода  $\alpha, \beta$ -ненасыщенной карбонильной системы.

Целью данной научной работы является изучение возможности использования халконов в качестве антимикробных веществ к микроорганизмам в составе биопленки.

Для достижения поставленной цели необходимо выделить пленкообразующие микроорганизмы. Источниками пленкообразующих микроорганизмов служили образцы воды из цветочных ваз и из слива в раковине. В виде чистых культур выделено 8 новых штамма бактерий: А, С, G<sub>0</sub>, G<sub>1</sub>, Smg<sub>2</sub>, R<sub>1</sub>, Pe, Smg<sub>1</sub>. Определена их способность образовывать биопленку (таблица 1) методом адсорбции красителя (кристаллического фиолетового) биопленкой с последующей его десорбцией 33%-ым раствором уксусной кислоты и измерением экстинкции полученного раствора.

Как видно из таблицы 1 наибольшее значение экстинкции у четырех штаммов: G<sub>0</sub>, G<sub>1</sub>, Smg<sub>2</sub> и R<sub>1</sub>, что говорит о их хорошей способности образовывать биопленку. Эти штаммы отобраны в качестве тест-культур для проверки антибактериальных свойств халконов по отношению к пленкообразующим микроорганизмам.

**Таблица 1 – Экстинкция растворов кристаллического фиолетового (в 33%-ой уксусной кислоте), экстрагированного из биопленок выделенных штаммов**

Штамм	Экстинкция экстрагированного спиртового раствора кристаллического фиолетового ( $\lambda=585$ нм)		
A	0,522	0,519	0,520±0,002
C	0,584	0,574	0,579±0,005
G <sub>0</sub>	0,699	0,712	0,706±0,007
G <sub>1</sub>	0,877	0,869	0,873±0,004
Smg <sub>1</sub>	0,454	0,467	0,460±0,007
Smg <sub>2</sub>	0,712	0,719	0,716±0,004
R <sub>1</sub>	0,965	0,974	0,970±0,005
Pe	0,578	0,568	0,573±0,005

Антибактериальную активность халконов определяли с помощью диффузионного метода. Для эксперимента использовали растворы трех халконов (D-24, D-28, D-29) с концентрациями 1%. Данные эксперимента представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Антимикробные свойства халконов при одной концентрации и с разными штаммами**

Штаммы	Диаметр зон ингибирования роста под воздействием халконов (1%); мм:		
	D-24	D-28	D-29
G <sub>0</sub>	28	28	20
G <sub>1</sub>	24	26	–
Smg <sub>2</sub>	42	42	24
R <sub>1</sub>	20	20	–

Как видно из таблицы 2 более всего чувствительным к халконам оказался штамм Smg<sub>2</sub>. Поэтому в дальнейшем его использовали в качестве тест-культуры для оценки антибактериальных свойств халконов суспензионным методом.

Также следует отметить, что по данным таблицы 2 наименьшими антимикробными свойствами обладает халкон D-29, поэтому было принято решение в суспензионном методе оценки антимикробной активности микроорганизмов использовать только 2 халкона: D-24 и D-28.

Для проведения суспензионного метода выбраны следующие концентрации халконов D-24 и D-28: 0,1%; 0,05%; 0,01% и 0,005%. После инкубирования, разведения и высева ряда разведений на плотную питательную среду были подсчитаны изолированные колонии.

Оценку антимикробной активности проводили по показателю фактор редукции (R). Вещества признаются антимикробными, если фактор редукции для них больше двух. Значения показателя R для разных концентраций халконов представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Значение показателя R при разных концентрация халконов**

Халконы	Значение показателя R при разных концентрациях халконов	
	0,01%	0,05%
D-24	1,78	2,66
D-28	1,32	2,23

Интерпретируя данные таблицы 3 можно сделать вывод о том, то халконы D-24 и D-28 при концентрации 0,05% проявляют антибактериальную активность (значение показателя  $R > 2$ ) и их можно использовать в качестве антимикробных препаратов по отношению к анализируемой тест-культуре.

#### ЛИТЕАТУРА

1. Бахир, В.М. Микробные биопленки: механизмы образования и взаимодействия с окружающей средой, новые подходы к разрушению биопленок / В.М. Бахир// Пища. Экология. Качество: труды XIII международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 125–130.
2. Смирнова, Т.А. Структурно-функциональная характеристика бактериальных биопленок / Т.А. Смирнова, Л.В. Диденко, Р.Р. Азизбеян, Ю.М. Романова // Микробиология. – 2010. – том 79. – №4. – С. 435–446.

УДК 615.076.7

Студ. Я.А. Шевчик, магистрант А.И. Савельев  
 Науч. рук. ассист. Е.Ф. Чернявская (кафедра биотехнологии, БГТУ);  
 зав. каф. С.Г. Михалёнок (кафедра органической химии, БГТУ)

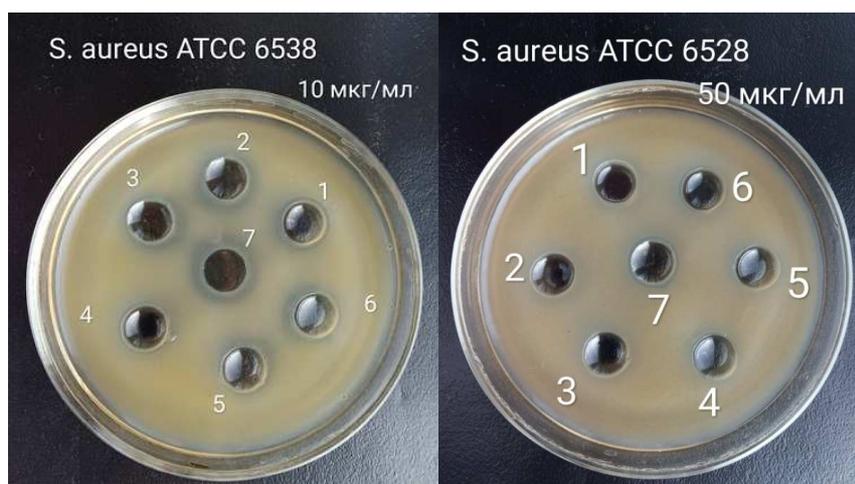
### ОЦЕНКА АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ТЕТРАГИДРОКАРБОЗОЛОНОВ, ОДИФИЦИРОВАННЫХ ПО ПОЛОЖЕНИЮ 9

В настоящее время остро стоит проблема поиска эффективных, малотоксичных антимикробных веществ. Это обусловлено, в свою очередь, тем, что широкое использование бактерицидных средств привело к отбору штаммов, устойчивых к широкому спектру антимикробных препаратов. Инфекции, вызванные резистентными бактериями затруднительно подавить, используя известные антибиотики. Для решения этой проблемы требуется создание новых антимикробных препаратов способных преодолеть механизм устойчивости бактерий. Производные тетрагидрокарбозола привлекают всё больший интерес в качестве перспективных фармацевтических средств, обладая широким спектром биологической активности в отношении бактерий [1, 2], грибов [3] и различных линий раковых клеток [4, 5]. Для анализа отобраны 7 веществ модифицированных по 9-му положению вещества: 1 - 2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-он; 2 - 9-бензил-2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-он; 3 - 9-(4-(бензилокси)бут-2-ин-1-ил)-2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-он; 4 - 9-(проп-2-ин-1-ил)-2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-он; 5 - 9-метил-2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-он; 6 - 9-аллил-2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-он; 7 - 9-(оксиран-2-илметил)-2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-он. Для первичной оценки активности исследуемых соединений использовали диффузионный метод, а также санитарно-эпидемиологические культуры: *Escherichia coli* ATCC 8739, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Ширина зон ингибирования роста микроорганизмов

		<i>E. coli</i> ATCC 8739	<i>S. aureus</i> ATCC 6538
1	2	3	4
1	50	0	0
	10	22	16
	5	22	-
2	50	0	0
	10	23	17
	5	22	-

1	2	3	4
3	50	0	0
	10	23	17
	5	22	-
4	50	0	0
	10	18	13
	5	20	-
5	50	0	0
	10	19	20
	5	17	-
6	50	0	0
	10	21	14
	5	18	-
7	50	0	0
	10	24	20
	5	24	-



**Рисунок 1 – Антибактериальные свойства исследуемых производных тетрагидрокарбозолов**

Как видно из полученных данных, используемые вещества обладают антимикробной активностью в концентрациях 5-10 мкг/мл, но не обладают ею в концентрации 50 мкг/мл. Это явление может быть обусловлено сложностью диффузии высококонцентрированных растворов исследуемых веществ сквозь агар/клеточную стенку. Для подтверждения полученных данных проведен суспензионный метод на *S. aureus ATCC 6538* с использованием веществ, давших наиболее выраженный результат – вещества №2, №7. Результаты представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Концентрация КОЕ/мл *S. aureus* при культивировании микроорганизмов в присутствии исследуемых веществ**

Вещество	Концентрация КОЕ/мл <i>S. aureus</i> при культивировании в присутствии исследуемых веществ в концентрации, мкг/мл:			
	0,1	1	25	50
2	$2,9 \cdot 10^7$	$8,8 \cdot 10^7$	$8,4 \cdot 10^7$	$4,1 \cdot 10^7$
7	$7,3 \cdot 10^7$	$4,4 \cdot 10^7$	$4,4 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^7$
Примечание: К+ составил $1,4 \cdot 10^8$ КОЕ/мл				

Как видно из полученных данных, оба анализируемых вещества в исследуемых концентрациях обладают лишь незначительным бактериостатическим эффектом (снижение концентрации бактерий на один порядок), причем этот эффект не зависит от применяемой концентрации. Подобное явление может быть обусловлено различными причинами, среди которых наиболее вероятными являются достижения лимита транспорта антимикробного вещества сквозь мембраны клеток и химическое взаимодействие анализируемых веществ с компонентами питательной среды, приводящее к инаktivации биоцида. Для устранения последнего явления в дальнейших исследованиях планируется выполнение экспериментов с использованием синтетических питательных сред.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Design, synthesis and evaluation of hybrid of tetrahydrocarbazole with 2,4-diaminopyrimidine scaffold as antibacterial agents / L. Su [et al.] // *European Journal of Medicinal Chemistry*. – 2019. – Vol. 162. – P. 203–211.
2. Mahboobi, S. Antimycobakteriell wirksame Carbazolderivate / S. Mahboobi, S. Kuhr, W. Meindl // *Archiv der Pharmazie*. – 1994. – Vol. 327, № 10. – P. 611–617.
3. Sangeetha, V. Synthesis of pyrimido annelated carbazoles and 2-methyl-6-oxo-bisindolo[1,2-b:5,4-b'] cyclohexanones using 2-hydroxymethylene-1-oxo-1,2,3,4-tetrahydrocarbazoles / V. Sangeetha, K. J. Rajendra Prasad // *Indian Journal of Chemistry*. – 2006. – Vol. 45B – P. 1028–1033.
4. 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.
5. Discovery of tetrahydrocarbazoles as dual pERK and pRb inhibitors / M. R. Kulkarni [et al.] // *European Journal of Medicinal Chemistry*. – 2017. – Vol. 134. – P. 366–378.

## **ПОЛУЧЕНИЕ СМЕШАННЫХ КУЛЬТУР, ПРИГОДНЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОУДОБРЕНИЙ**

Потребность сельского хозяйства в азотных и фосфорных удобрениях возрастает. Доступность содержащегося в почве азота и фосфора относится к лимитирующим факторам роста и развития растений. Применение химических азотных и фосфорных удобрений, имеющих высокую стоимость, требует значительных затрат энергоресурсов, а сами по себе они могут быть вредны с точки зрения экологии [1]. Создание и применение биопрепаратов на основе азотфиксирующих и фосфатмобилизирующих микроорганизмов – наиболее эффективный прием повышения продуктивности растений, позволяющий сохранять естественное плодородие почв и экологическое равновесие окружающей среды [2].

Целью настоящей работы является выделение азотфиксирующих бактерий из почвы и получение смешанных культур на их основе, пригодных для создания биоудобрений.

Выделение азотфиксирующих бактерий проводили из ризосферы бобовых культур. Всего в ходе эксперимента исследовано две пробы почв: почва, где растут бобовые, и неокультуренная дерново-подзолистая почва, в которую не вносились азотные удобрения.

Для выделения преимущественно азотфиксирующих бактерий использовали главный селективный фактор – отсутствие в питательной среде источника азота. Для создания селективных условий при выделении использовали агаризованную среду Эшби. Таким образом, выделено и расчищено 8 штаммов азотфиксирующих бактерий, в том числе 4 штамма актиномицетов.

Для создания комбинированных биоудобрений на основе смешанных культур микроорганизмы не должны тормозить рост или обуславливать гибель друг друга и не должны являться фитопатогенными. В качестве потенциальной пары выделенным азотфиксаторам использовали 3 наиболее активных штамма фосфатмобилизирующих бактерий, выделенных в параллельном исследовании.

Антагонистическую активность микроорганизмов определяли методом перпендикулярных штрихов. Тест-культура, чувствительная к веществу, продуцируемому антагонистом, растет вдали от штриха продуцента, причем расстояние от штриха антагониста тем больше, чем выше чувствительность тест-культуры к антимикробному веществу [3]. Нечувствительные микроорганизмы развивались в непосредст-

венной близости от штриха антагониста. Полученные результаты исследования антагонистической активности представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Оценка антагонистической активности микроорганизмов**

МО-антагонист	Тест-культура							
	1'	2'	4'	6'	1.1''	1.2''	5''	6''
Ф 10	-	+(7мм)	+(13мм)	+(2мм)	-	-	-	-
Ф 6	+(18мм)	+(9мм)	+(10мм)	+(8мм)	+(18мм)	+(18мм)	+(18мм)	+(8мм)
Ф 17	-	-	+(5мм)	-	-	+(12мм)	+(8мм)	-
МО-антагонист	Тест-культура							
		Ф10		Ф 6		Ф17		
1'		+(5мм)		+(5мм)		-		
2'		-		+(6мм)		-		
4'		-		+(5мм)		-		
6'		-		+(8мм)		-		
1.1''		-		-		-		
1.2''		-		-		-		
5''		-		-		-		
6''		-		+(7мм)		-		

Примечание: В таблице «+» - микроорганизмы чувствительны к веществу, продуцируемому антагонистом (в скобках указано расстояние от штриха антагониста до штриха тест-культуры), «-» - микроорганизмы нечувствительны к веществу, продуцируемому антагонистом

Исходя их полученных данных отобраны пары микроорганизмов, не проявляющих антагонистических свойств друг к другу (выделены серым цветом).

Параллельно проведен эксперимент на выявление мацерирующей активности микроорганизмов для исключения фитопатогенных штаммов, поскольку они вызывают инфекционные болезни растений. Мацерирующую активность определяли путем заражения стерильных ломтей картофеля выделенными штаммами азотфиксаторов и фосфат-мобилизующими микроорганизмами на двух чашках с 1%-ным агаром [2]. Заражение картофеля проводили в трехкратной повторности, включая контроль. В таблице 2 приведены результаты исследования мацерирующей активности микроорганизмов.

**Таблица 2 – Мацерирующая активность микроорганизмов**

Номер штамма	Мацерация тканей клубня									
	1 день	2 день	3 день	4 день	5 день	6 день	7 день	8 день	9 день	10 день
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1'	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	+/-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.1''	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,2''	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5'	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-
6''	1	-	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+	+
	2	-	-	-	+/-	+/-	+	+	+	+
	3	-	-	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+
6'	1	-	-	-	-	+/-	+	+	+	+
	2	-	-	-	+/-	+/-	+	+	+	+
	3	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+	+
4'	1	-	-	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+
	2	-	-	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+
	3	-	-	-	+/-	+	+	+	+	+
2'	1	-	-	-	-	-	-	-	+/-	+/-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ф10	1	-	-	-	+/-	+/-	+	+	+	+
	2	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+	+
	3	-	-	-	+/-	+/-	+	+	+	+
Ф6	1	-	+/-	+/-	+	+	+	+	+	+
	2	-	+/-	+/-	+	+	+	+	+	+
	3	-	-	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+
Ф17	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль №1,2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: В таблице «+/-» - легкое размягчение тканей клубней, «-» - отсутствии признаков мацерации, «+» - мацерация картофеля.

Исходя из таблицы 2, для последующих исследований выбраны те, которые не являются фитопатогенными (в таблице выделены серым цветом). После двух экспериментов отобраны 3 комбинации штаммов, пригодных для создания многокомпонентных биоудобрений: Ф17 и 1', Ф17 и 1,2'', Ф17 и 2'. В дальнейшем будут проведены исследования по внедрению полученных ассоциаций микроорганизмов для создания биоудобрений и выращиванию овощной культуры с использованием данных биоудобрений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Терещенко Н.Н. Биоудобрения на основе микроорганизмов. / Томский государственный университет. – Томск. – 2003. – 60 с.
2. Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. Клубеньковые бактерии и инокуляционный процесс. – М.: Наука, 1973. – 240 с.
3. Белясова Н.А. Микробиология / Учебное пособие для студентов специальности «Биотехнология». – Минск: БГТУ, 2008. – 338 с.

УДК 631.81.036

Магистрант Я.Л. Страх

Науч. рук. ст. преп. А.М. Шимкевич (кафедра биотехнологии, БГТУ)

### **БИОДЕГРАДАЦИЯ ПЕСТИЦИДОВ. ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ БАКТЕРИЙ-ДЕСТРУКТОРОВ**

В настоящее время для снижения степени засорения посевов сельскохозяйственных культур сорной растительностью, приводящей к уменьшению урожайности и, как следствие, к значительному экономическому ущербу, используются довольно большие объёмы различных гербицидов. Они, в свою очередь, являются серьезными источниками загрязнения окружающей среды. Это представляет также потенциальную опасность и для здоровья населения.

Гербициды – средства химической защиты, препятствующие развитию сорных растений. Наибольшую практическую значимость среди них имеют галогенсодержащие органические соединения, а также средства защиты растений на основе сульфонилмочевины. Остаточные количества данных веществ, являющихся ксенобиотиками, продолжительное время сохраняются в окружающей среде и оказывают непосредственное негативное воздействие на биологические объекты в короткие промежутки времени, а также в долгосрочной перспективе [1]. В связи с этим важное значение имеет разработка эффективных подходов утилизации остатков ядохимикатов. Весьма перспективным методом является ремедиация почв по типу направленной биodeградации, то есть, использование бактерий-деструкторов с целью разрушения химической структуры загрязняющих веществ.

Целью данной работы является изучение динамики деградации таких гербицидов, как 2,4-Д(2-этилгексильный эфир) и метсульфурон-метил культурами выделенных из почвы бактерий.

**Материалы и методы.** В качестве объекта для работы были использованы штаммы почвенных микроорганизмов-деструкторов пестицидов из коллекции кафедры биотехнологии БГТУ. Микроорганизмы выращивали на плотной синтетической питательной среде ММ9 [2], содержащей 2,4-Д(2-этилгексильный эфир) в концентрации 200 мг/л, ММ9 с метсульфурон-метилом в концентрации 200 мг/л и на среде ММ9 с одновременным присутствием 2,4-Д(2-этилгексильный эфир) и метсульфурон-метилом в вышеуказанных концентрациях. Посевы инкубировали в течение 3-х суток при температуре 20°C. Отбирали штаммы микроорганизмов, проявившие наиболее активный рост во всех трех случаях. Дальнейшую селекцию микроорганизмов проводили в жидкой синтетической питательной среде ММ9 с 2,4-Д(2-

этилгексильный эфир) (200 мг/л) и метсульфурон-метилом (200 мг/л) с инкубированием в течение 5 суток с аэрацией (20°C, 100 мин<sup>-1</sup>). На основании результатов измерения оптической плотности клеточной суспензии ( $\lambda=560$  нм, спектрофотометр Analytik Jena ScanDrop<sup>2</sup>) был отобран один штамм, характеризующийся наибольшим ростом при указанных условиях.

Изучение динамики деградации гербицидов проводили в жидкой культуре на среде ММ9, содержащей ядохимикаты в пяти вариантах: 2,4-Д(2-этилгексильный эфир) 200 мг/л, 2,4-Д(2-этилгексильный эфир) 400 мг/л, метсульфурон-метил 200 мг/л, метсульфурон-метил 400 мг/л, 2,4-Д(2-этилгексильный эфир) 200 мг/л и метсульфурон-метил 200 мг/л. Культивирование проводили в течение 21 дня.

Отбирали пробы культуральной жидкости объемом 3 мл, биомассу отделяли центрифугированием (6000 об/мин., 15 мин.). Экстракцию гербицидов из супернатанта осуществляли равным объемом диэтилового эфира, верхнюю фракцию отделяли и высушивали безводным Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Экстракт упаривали досуха, сухой остаток растворяли в 1 мл подвижной фазы и анализировали методом ВЭЖХ-МС для метсульфурон-метила и ГХ для 2,4-Д (2-этилгексильный эфир).

В качестве подвижной фазы использовали 50%-ный раствор ацетонитрила в 0,1%-ной муравьиной кислоте при скорости элюирования 0,7 мл/мин. Объем вводимой пробы – 20 мкл. Тип ионизации – электроспрей ионизации (ESI). Параметры ионизации: напряжение на капилляре – 3 кВ, напряжение на экстракторе – 1 В, напряжение на конусе – 40 В, температура источника – 130°C, температура испарения – 350°C, расход инертного газа (азота) на испарителе – 400 л/час, расход газа на конусе – 150 л/час. Анализ ВЭЖХ-МС проводили на хромато-масс-спектрометре «Waters» с диодно-матричным спектрофотометрическим детектором PDA 996 и масс-детектором «Micromass ZQ 2000» (Waters, США), использовали колонку “HYPERSIL C18” длиной 250 мм, диаметром 4,6 мм и с размером частиц 5 мкм. Запись масс-спектров производили в режиме регистрации положительных (ESI+) и отрицательных ионов (ESI-). Анализ ГХ проводили на газовом хроматографе AGILENT. Использовали колонку HP-5, детектор пламенно-ионизационный. Температура инжектора – 250°C, поток газа-носителя через колонку – 2,12 см<sup>3</sup>/мин; объем вводимой пробы – 0,6 мкл, начальная температура термостата колонки – 50°C; время выдерживания при начальной температуре – 1 мин; конечная температура термостата колонки – 260°C, температурный градиент термостата – 10°C/мин,

время выдерживания при конечной температуре – 10 мин; температура детектора 300°C.

**Результаты.** Анализ проб культуральной жидкости, показал, что общая тенденция в изменении содержания использованных гербицидов имеет сходный характер. Так, при культивировании отобранного штамма бактерий на среде содержащей 2,4-Д (2-этилгексилловый эфир) в концентрациях 200 мг/л и 400 мг/л, а также на среде с одновременным присутствием обоих гербицидов отмечено, что содержание 2,4-Д начинает заметно снижаться уже после первых суток. Затем, после пяти суток культивирования, данный показатель начинает увеличиваться, и эта тенденция может сохраняться вплоть до 15-х суток. При этом, однако, содержание гербицида в культуральной жидкости не превышает данный показатель, зафиксированный после первых суток. В дальнейшем содержание 2,4-Д вновь снижается. Отмеченные колебания содержания гербицида в культуральной жидкости, возможно, можно связать с тем, что клетки микроорганизмов на первых этапах культивирования усиленно поглощают гербицид, однако при этом не осуществляют деградацию всей поглощённой массы, остатки которой затем высвобождаются. Тем не менее, сравнение содержания гербицида 2,4-Д в среде в начале культивирования и в конце (21-е сутки) показывает, что его количество заметно снижается: на 96–91% при исходной концентрации 200 мг/л и 400 мг/л, соответственно, а также на 62% при совместном внесении двух гербицидов.

Таким образом, выделенный штамм представляет определённый интерес для дальнейших исследований, предполагающих, в том числе, изучение активности ферментов дегазогеназ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гербициды и окружающая среда / Ю.Я. Спиридонова [и др.] // Агрохимия. – 2000. – №1. – С. 37–41.
2. Миллер, Дж. Эксперименты в молекулярной генетике / Дж. Миллер. – М.: Мир, 1976. – 436 с.

УДК 615

Ассист. М.В. Авсейко; студ. В.С. Одинцова  
Науч. рук. зав. каф. Н.Д. Яранцева  
(кафедра фармацевтической химии, БГМУ)

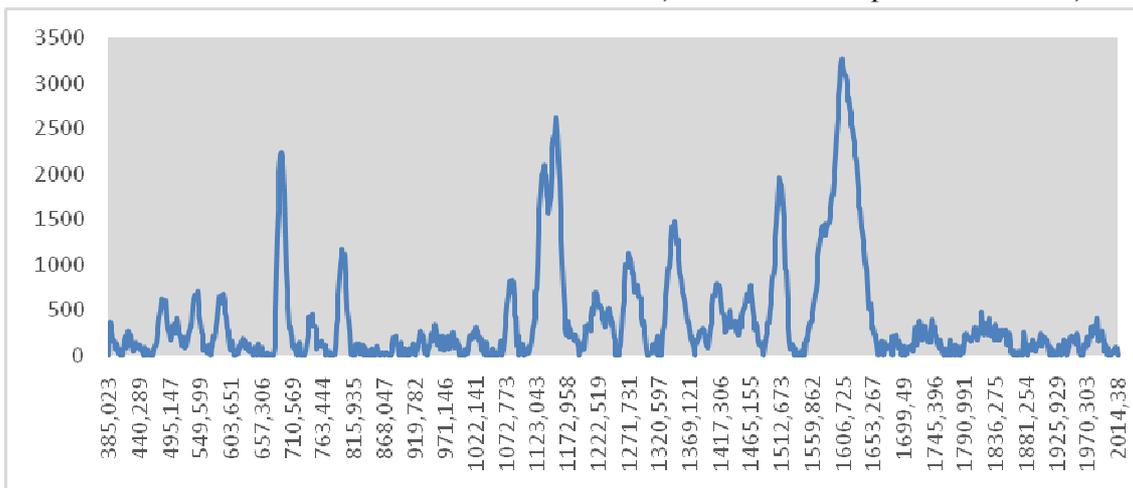
## **ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ГРУППЫ ДИУРЕТИКОВ**

В настоящее время производство, реализация и потребление лекарственных средств увеличивается, но вместе с этим актуальной становится проблема, связанная с утилизацией отходов фармацевтических предприятий, пришедших в негодность лекарственных средств. Единый механизм утилизации фармацевтических отходов не разработан: наиболее часто применяются термические методы утилизации, слив в канализацию, сопряженный с загрязнением сточных и поверхностных воды, или совместное с иными бытовыми отходами уничтожение. В целом влияние на окружающую среду описанных способов утилизации оценивается как неблагоприятное.

Цель работы: предложить метод утилизации лекарственных средств, обеспечивающий экологическую безопасность и эффективность обезвреживания.

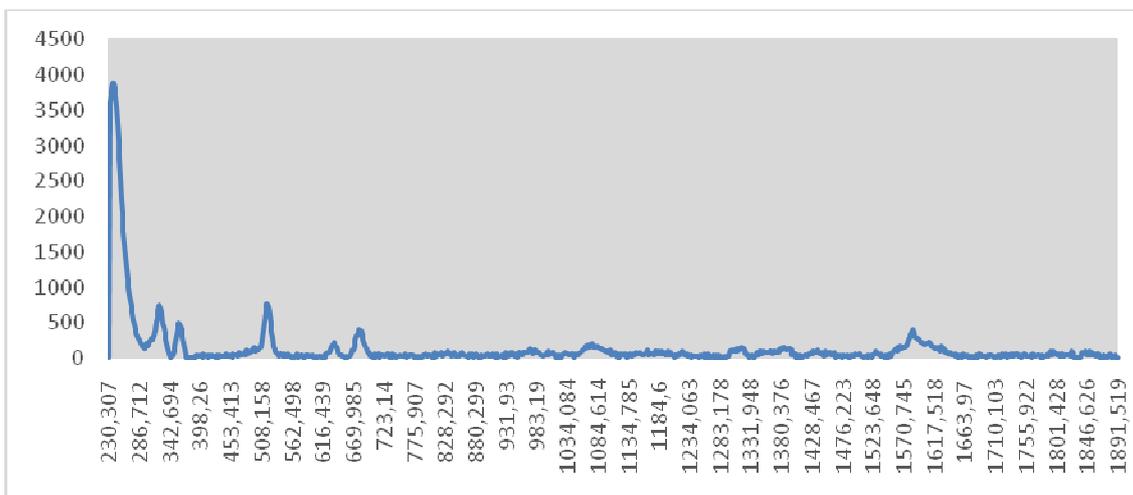
В качестве образцов для разработки метода химической деградации были выбрали диуретические лекарственные средства: фуросемид и гидрохлортиазид. Особенности химической структуры данных соединений обуславливают их устойчивость в окружающей среде и способность аккумулироваться в биологических системах.

Для разрушения фармакофора фуросемида, основополагающей структурой которого является карбоксильная группа, была выбрана реакция декарбоксилирования с применением 0,4 г/л раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и последующим нагреванием до  $300^\circ\text{C}$  [1]. С целью установления структуры полученного соединения регистрировался спектр комбинационного рассеяния исходного и разрушенного образца субстанции фуросемида. Измерения проводили на 3D-сканирующем конфокальном рамановском микроскопе Confotec NR500. Использовалась длина волны возбуждающего излучения 633 нм. В качестве подложек были использованы BelSERS на основе наноструктур серебра и пористого кремния [2, 3]. Рамановский спектр исходного образца субстанции фуросемида характеризуется максимумами пиков при следующих частотах:  $479\text{ см}^{-1}$ ,  $544\text{ см}^{-1}$ ,  $590\text{ см}^{-1}$ ,  $693\text{ см}^{-1}$ ,  $745\text{ см}^{-1}$ ,  $801\text{ см}^{-1}$ ,  $1084\text{ см}^{-1}$ ,  $1154\text{ см}^{-1}$ ,  $1219\text{ см}^{-1}$ ,  $1275\text{ см}^{-1}$ ,  $1346\text{ см}^{-1}$ ,  $1415\text{ см}^{-1}$ ,  $1464\text{ см}^{-1}$ ,  $1511\text{ см}^{-1}$ ,  $2862\text{ см}^{-1}$ ,  $2910\text{ см}^{-1}$ ,  $3286\text{ см}^{-1}$ ,  $3346\text{ см}^{-1}$ ,  $3393\text{ см}^{-1}$ ,  $3444\text{ см}^{-1}$ .



**Рисунок 1 – Рамановский спектр исходного образца субстанции фуросемида**

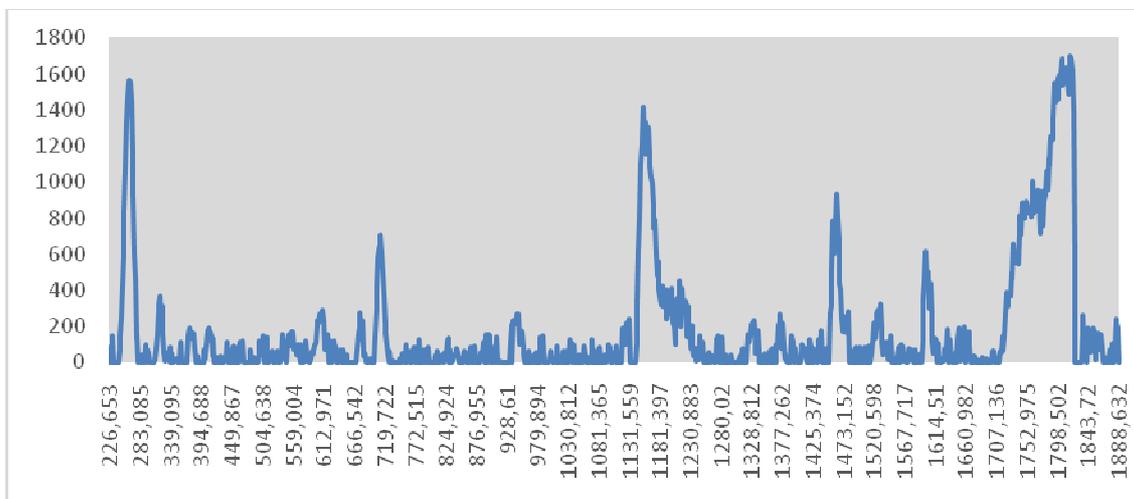
Рамановский спектр образца разрушенной субстанции фуросемида характеризуется отсутствием пика  $1154\text{ см}^{-1}$  и уменьшением интенсивности пика  $1605\text{ см}^{-1}$ .  $1154\text{ см}^{-1}$  является характеристической частотой поглощения карбоксильной группы, пик с частотой  $1605\text{ см}^{-1}$  проявляется как при наличии карбоксильной группы, так и труднорастворимой ароматической системы, следствием чего является не полное отсутствие описанного пика, а лишь сниженная его интенсивность, соответствующая только ароматическому ядру.



**Рисунок 2 – Рамановский спектр образца разрушенной субстанции фуросемида**

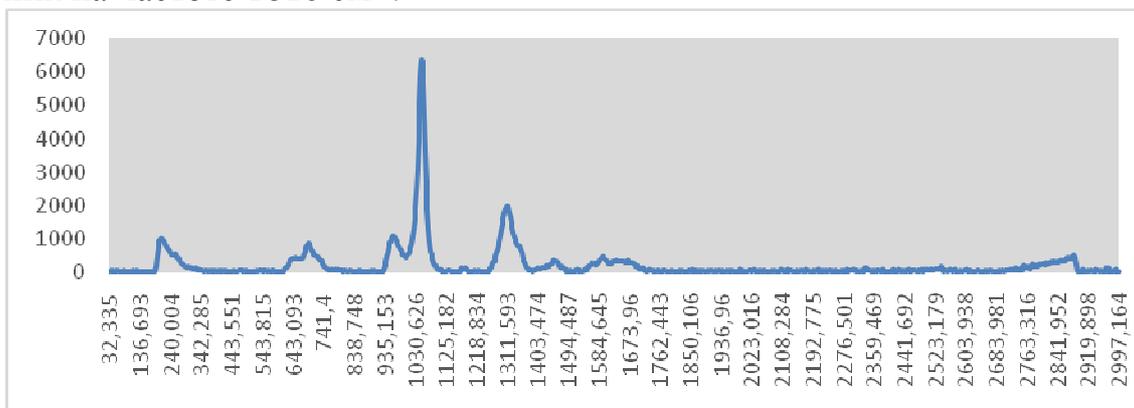
Гидрохлортиазид, фармакологическую активность которого обуславливает наличие сульфонамидной группы, возможно инактивировать проведением реакции окисления с концентрированной азотной кислотой [4]. На спектре комбинационного рассеяния исходного образца субстанции гидрохлортиазида регистрируются пики на сле-

дующих частотах:  $265\text{ см}^{-1}$ ,  $317\text{ см}^{-1}$ ,  $713\text{ см}^{-1}$ ,  $942\text{ см}^{-1}$ ,  $1154\text{ см}^{-1}$ ,  $1462\text{ см}^{-1}$ ,  $1527\text{ см}^{-1}$ ,  $1599\text{ см}^{-1}$ ,  $1810\text{ см}^{-1}$ ,  $2443\text{ см}^{-1}$ ,  $2957\text{ см}^{-1}$ ,  $3079\text{ см}^{-1}$ ,  $3182\text{ см}^{-1}$ ,  $3247\text{ см}^{-1}$ ,  $3374\text{ см}^{-1}$ ,  $3715\text{ см}^{-1}$ ,  $3946\text{ см}^{-1}$ .



**Рисунок 3 – Рамановский спектр исходного образца субстанции гидрохлортиазида**

На спектре образца разрушенной субстанции гидрохлортиазида не регистрируется характеристический для сульфонамидной группы пик на частоте  $1810\text{ см}^{-1}$ .



**Рисунок 4 – Рамановский спектр образца разрушенной субстанции гидрохлортиазида**

Проведенные исследования доказывают возможность применения химического способа утилизации непригодных лекарственных средств. Достоинствами такого метода является образование прогнозируемых метаболитов, образуемых в ходе реакции, обладающих низкой токсичностью, стойкостью и способностью к биоаккумуляции, дешевизна и доступность используемых реактивов, простота методик утилизации. Для контроля наличия/отсутствия активных групп вещества це-

лесообразно применение высокочувствительного и эффективного метода – спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Cho Y. et al. Drug repositioning and pharmacophore identification in the discovery of hookworm MIF inhibitors // *Chemistry & biology*. – 2011. – V. 18. – №. 9, P. 1089–1101.
2. Bandarenka H.V. et al. Formation regularities of plasmonic silver nanostructures on porous silicon for effective surface-enhanced Raman scattering // *Nanosc. Research Lett.* – 2016. – № 11, P. 262.
3. Tastekova E. et al. Facile chemical routes to mesoporous silver substrates for SERS analysis // *Beilstein J. Nanotechnol.* – 2018. – № 9, P. 880–889.
4. Beermann, B., Groschinsky-Grind, M., Rosén, A. Absorption, metabolism and excretion of hydrochlorothiazide // *Clin. Pharmacol. Ther.* 19. – P. 531–537.

УДК 628.356+574.64

Магистрант Д.А. Бутарева; студ. Ю.С. Дивина

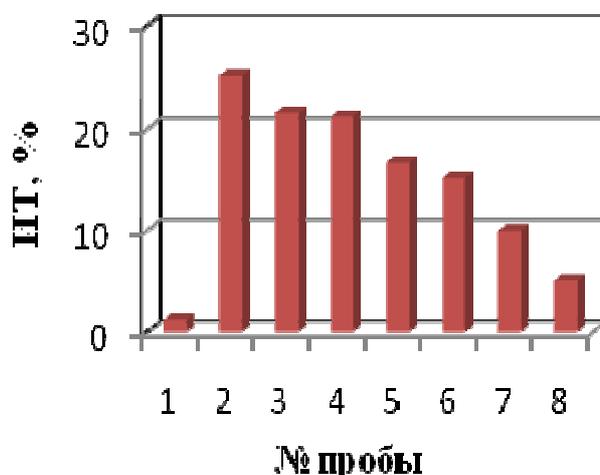
Науч. рук. доц. А.В. Игнатенко (кафедра биотехнологии, БГТУ)

#### **ПРОБОПОДГОТОВКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И БИОТЕСТИРОВАНИЕ ИХ ТОКСИЧНОСТИ**

Для гарантированного контроля безопасности сточных вод очистных сооружений и одновременного снижения стоимости анализа целесообразно использовать метод биотестирования, который определяет безопасность среды по изменению интегральных показателей жизнедеятельности отобранных тест-культур, проявляющих высокую чувствительность к опасным ксенобиотикам.

Целью данной работы является пробоподготовка осадков сточных вод (ОСВ) городских очистных сооружений на всех стадиях очистки для биотестирования их токсичности. Объектом исследования служили осадки сточных вод Минской очистной станции (МОС-1). Пробоподготовку ОСВ проводили в соответствии со схемой, предложенной в работе [1], ограничивая температурный режим обработки осадков при 100 °С. Для биотестирования использовали 3-х суточную культуру клеток микроводоросли *E. gracilis* из коллекции кафедры биотехнологии БГТУ. Биотестирование индекса токсичности (ИТ) ОСВ осуществляли по вы-

живаемости клеток. На рисунке приведены результаты биотестирования токсичности ОСВ МОС-1 на всех стадиях очистки.



1 – контроль; 2 – после цеха механической очистки; 3 – в 1-ом отстойнике; 4 – в 1-ой секции аэротенка; 5 – во 2-ой секции аэротенка; 6 – в 3-ей секции аэротенка; 7 – в 4-ой секции аэротенка; 8 – во 2-ом отстойнике

**Рисунок – Изменение индекса токсичности ОСВ МОС-1 в процессе биологической очистки сточных вод**

Полученные результаты указывают на то, предложенная схема пробоподготовки ОСВ позволяет быстро и эффективно контролировать их токсичность на всех стадиях биологической очистки сточных вод городских очистных сооружений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатенко А.В. Биотестирование химической безопасности осадков сточных вод / Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – Минск: БГТУ, 2017. – № 2 (211). – С. 10–14.

УДК 637.02

Студ. А.А. Железовская; И.В. Панасюк

Науч. рук. доц. А.В. Игнатенко (кафедра биотехнологии, БГТУ)

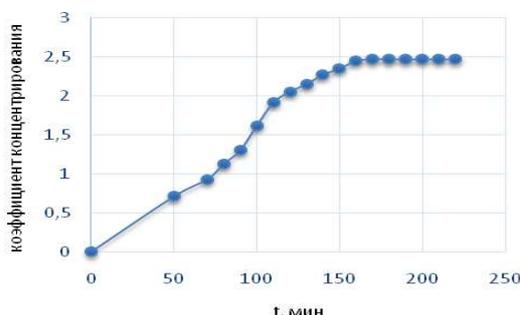
## КРИОКОНЦЕНТРИРОВАНИЕ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Молочная сыворотка – ценное пищевое сырье, включающее все компоненты молока. В Республике Беларусь свыше 40% молочной сыворотки сливается как отходы производства и несет угрозу окружающей среде. Тепловая обработка и пастеризация является экономически невыгодной, к тому же она не позволяет добиться длительного хранения, достаточного для транспортировки. Одним из возможных путей решения данной проблемы является внедрение методов криообработки [1].

Цель работы – исследование возможности криоконцентрирования и обеззараживания молочной сыворотки методом градиентного размораживания.

В работе использовали сыворотку молочную пастеризованную «Славянские традиции» с содержанием белков – 0,8%; лактозы – 3,5% и жиров – 0,2%. Замораживание сыворотки осуществляли при  $-20^{\circ}\text{C}$ . Градиент температур при размораживании сыворотки составлял:  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$  и  $15^{\circ}\text{C}$ . В процессе размораживания собирали фракции сыворотки через каждые 10 мин и анализировали содержания в них лактозы, белка рефрактометрическим методом, оптическую плотность образцов при 600 нм и проводили редуктазную пробу [2, 3].

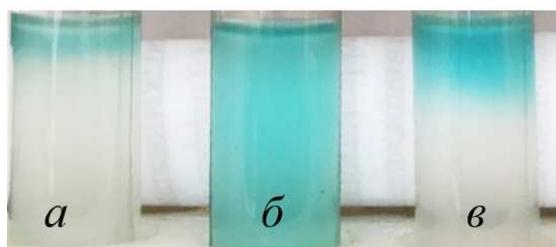
На рисунке 1 приведена кинетика изменения коэффициента концентрирования белков в размороженной сыворотке. Как видно из рисунка 1, содержание белков в размороженной сыворотке в 2,4 раза выше по сравнению с его содержанием в исходной сыворотке. Криообработка позволяет также тормозить развитие микроорганизмов в молочной сыворотке и проводить процесс ее обеззараживания



**Рисунок 1 – Кинетика изменения коэффициента концентрирования белков при градиенте температур  $40^{\circ}\text{C}$**

На рисунке 2 приведены результаты контроля содержания микроорганизмов в молочной сыворотке до и после размораживания с

помощью редуктазной пробы с редокс-красителем метиленовым синим. Как известно, редуктазная проба может быть использована для быстрого определения содержания микроорганизмов в молочных продуктах [4]. Проверка содержания микроорганизмов по редуктазной пробе в собранных фракциях показала, что исходная проба сыворотки (рисунок 2 а) обесцвечивалась в течение 20 мин, что указывает на содержание микроорганизмов в ней на уровне  $4 \cdot 10^6$  кл/мл.



**Рисунок 2 – Редуктазная проба: а – обесцвеченная исходная проба; б – окрашенная проба после размораживания; в – обесцвеченная размороженная проба**

После замораживания и размораживания сыворотка не обесцвечивалась за 20 мин (рисунок 2 б), а обесцвечивалась в течение 3-х часов (рисунок 2, в), что соответствует содержанию клеток –  $3 \cdot 10^5$  кл/мл.

Таким образом, метод градиентного размораживания можно использовать для криоконцентрирования молочной сыворотки и снижения ее бактериальной обсемененности, что повысит качество и сохранность молочной сыворотки и снизит затраты на ее транспортировку.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гуцин А.А. Анализ процессов криоконцентрирования молочной сыворотки в нескольких последовательных ступенях / А.А. Гуцин // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 45. – № 2. – С. 87– 92.
2. Зябрев А.Ф. Мембранные системы «БИОКОН». Применение мембранных процессов при переработке молочного сырья // Переработка молока. – 2002. – №1. – С. 10–12.
3. Короткий И.А., Гунько П.А., Валиахмедов Т.З. Исследование процессов выделения белков и лактозы из молочной сыворотки / И.А. Короткий, П.А. Гунько, Т.З. Валиахмедов // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – №1. – С. 44–48.
4. ГОСТ 9225-84. Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа. – М.: Изд-во стандартов. – 1989. – С. 309.

УДК 615.357

Студ. К.И. Ковалёва

Науч. рук. доц. А.В. Игнатенко (кафедра биотехнологии, БГТУ)

### ВЛИЯНИЕ МЕЛАТОНИНА НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ

Мелатонин – основной гормон, регулятор циркадного ритма всех живых организмов [1]. В настоящее время отсутствуют простые методы быстрой оценки его биологической активности. Изменение подвижности клеток является одним из наиболее простых и доступных методов оценки интегральной активности микроорганизмов.

Цель работы – разработка экспресс-метода определения биологической активности мелатонина.

Биологическую активность мелатонина оценивали по его влиянию на подвижность эукариотических клеток микроводоросли *E. gracilis*. Измерение подвижности клеток осуществляли с помощью устройства, включающего микроскоп, фотонасадку, цифровую фотокамеру, секундомер, капилляр и зажимы. Результаты обрабатывали статистически, используя программное обеспечение Microsoft Excel. Мелатонин выделяли из лекарственного средства «Меласон».

На рисунке приведено влияние мелатонина на подвижность клеток *E. gracilis*.

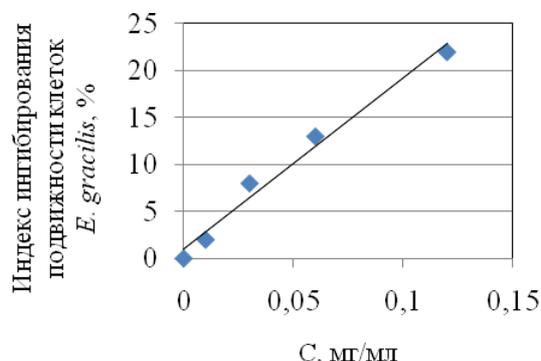


Рисунок – Влияние мелатонина на подвижность клеток микроводоросли *E. gracilis*

Как видно из рисунка, мелатонин подавляет двигательную активность клеток. Зависимость носит линейный характер от концентрации препарата, что позволяет за 10 мин оценить его биологическую активность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мелатонин: теория и практика / А. Ю. Беспярых и [др.] / под общ. ред. С.И. Рапопорта. – М: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2009. – 100 с.

### ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРОБИОТИКОВ

Пробиотики входят в состав функциональных и лечебно-профилактических продуктов питания, поэтому важной задачей является быстрое определение их количества и активности для оценки сроков годности и биологической ценности пищевых продуктов [1].

Цель работы – поиск экспресс-метода анализа содержания пробиотических микроорганизмов.

В работе использованы культуры клеток *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*, *Lactobacillus casei*. Наличие пробиотических свойств у выбранных микроорганизмов определяли оптико-редуктазным методом по способности восстанавливать метиленовый синий (МС) на среде с инулином.

На рисунке приведена зависимость скорости обесцвечивания МС от числа клеток *L. casei*, относящейся к пробиотической культуре.

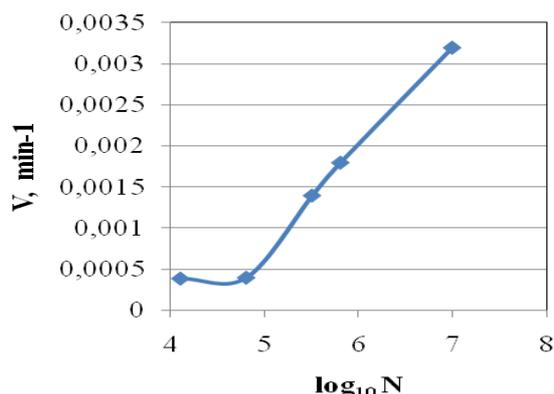


Рисунок 1 – Зависимость скорости обесцвечивания метиленового синего от числа жизнеспособных клеток *Lactobacillus casei* в среде с инулином

Другие виды микроорганизмов проявляли значительно более низкую редуктазную активность в среде с инулином.

Таким образом, оптико-редуктазный метод позволяет за 10 мин определить содержание пробиотической культуры от  $10^5$  до  $10^7$  кл/мл.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бисенгалиев, Р. М. Пробиотики и пребиотики как основа функционального питания / Р.М. Бисенгалиев, Р.С. Садыков, Э.Т. Акбатырова // Молодой ученый. – 2016. – №8. – С. 185–188.

УДК 637. 02

Студ. И.В. Панасюк, А.А. Железюк

Науч. рук. доц. А.В. Игнатенко (кафедра биотехнологии, БГТУ)

## ВЫДЕЛЕНИЕ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ ИЗ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ МЕТОДОМ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Молочная сыворотка является ценным отходом производства молочной продукции. В среднем в нее переходит около половины сухих веществ исходного молока, из которых белки являются наиболее ценным компонентом. Однако белки молочной сыворотки в настоящее время полностью не используются из-за отсутствия соответствующих технологий их выделения.

Целью работы является определение эффективности выделения сывороточных белков из молочной сыворотки методом градиентного размораживания. В работе использовали сыворотку молочную пастеризованную «Славянские традиции» с содержанием белков - 0,8%; лактозы - 3,5% и жиров - 0,2%. Замораживание сыворотки осуществляли при - 20°C. Градиент температур при размораживании сыворотки составлял: 40°C, 20°C и 15°C. В процессе размораживания собирали фракции сыворотки через каждые 10 мин и измеряли объем размороженной фракции, оптическую плотность образцов при 600 нм на спектрофотометре Specord M-40, содержание в них лактозы, белка рефрактометрическим методом с помощью рефрактометра ИРФ-464.

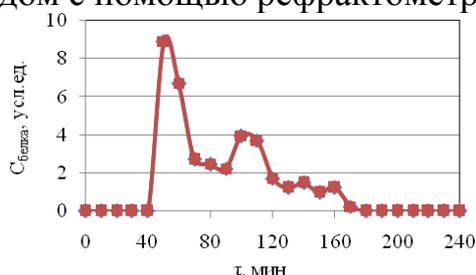


Рисунок – Кинетика выделения белка из молочной сыворотки при  $\Delta T = 40^\circ\text{C}$

На рисунке приведен выход белков по данным рефрактометрии. Как видно из рисунка, наблюдается выход 3-х фракций белков, что позволяет выделять и фракционировать белки молочной сыворотки. Таким образом, в результате проведенной работы установлено, что градиентное размораживание молочной сыворотки позволяет выделять белковые фракции молочной сыворотки и отделять их от других ее компонентов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Короткий, И.А., Гунько, П.А., Валиахмедов, Т.З. Техника и технология пищевых производств // Исследование процессов выделения белков и лактозы из молочной сыворотки. – 2012, № 1. С. 44–48.

УДК 664.144+663.916.7

Студ. И.Г. Радчук

Науч. рук. доц. А.В. Игнатенко (кафедра биотехнологии, БГТУ)

### МИКРОМЕТРИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ШОКОЛАДНЫХ МАСС

Качество шоколадных изделий определяется степенью измельчения частиц шоколада, определяемой по методу Реутова [1]. Целью исследования являлся поиск более эффективного способа определения степени измельчения шоколадных частиц.

Для исследования были взяты образцы шоколадных масс ОАО «Коммунарка». Проводились параллельные определения степени их измельчения методом Реутова по ГОСТ 5902-80 и микрометрическим методом. В работе использовали 3 варианта нанесения шоколадных масс на поверхность микрометра: разогретая шоколадная масса при 40°C; смесь шоколадной массы с растительным маслом в соотношении 1:1 и 1:2 (таблица).

**Таблица – Сравнительный анализ определения степени измельчения шоколадных масс разными способами**

Название шоколадной массы	Степень измельчения шоколадной массы, % (n = 5)			
	Микрометр			ГОСТ 5902- 80
	шоко- лад	шоко- лад+масло (1:1)	шоколад + масло (1:2)	
Шоколад Коммунарка горький 68%	96	97	97	97
Шоколад горький Узорчатый	98	99	99	99
Шоколад Любимая Алёнка	93	93	94	94

Как видно из таблицы, наблюдается сходимость значений степени измельчения шоколада, определенных методом Реутова и с помощью микрометра и соответствует нормативным требованиям ГОСТ 5902-80. Таким образом, применение микрометрического метода является более быстрым способом и позволяет заменить длительный и трудоемкий метода анализа по Реутову.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лурье, И.С. Технология и технохимический контроль кондитерского производства. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 328 с.

УДК 577.151+577.152.18

Студ. А.А. Свибович

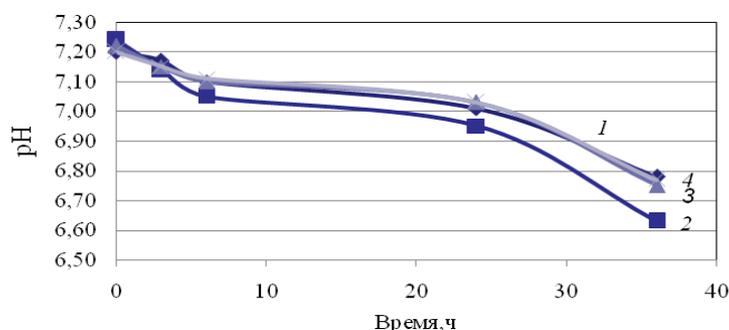
Науч. рук. доц. А.В. Игнатенко (кафедра биотехнологии, БГТУ)

## АНАЛИЗ СВОЙСТВ МИКРООРГАНИЗМОВ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ КАРИЕСА И ВЛИЯНИЕ НА НИХ АНТИМИКРОБНЫХ ВЕЩЕСТВ

Основным механизмом возникновения кариеса является прогрессирующая деминерализация твердых тканей зубов под воздействием органических кислот, образующихся в связи с деятельностью кариесогенных микроорганизмов. К одним из них относят стрептококки *S. mutans*.

Цель работы – поиск веществ, подавляющих *S. mutans*. В работе были использованы микроорганизмы, вызывающие кариес, выделенные ранее на солевой среде М9 с сорбитом, рН 7,22. Была изучена кислотообразующая активность штаммов *S. mutans* и выбран наиболее активный кислотообразователь.

О скорости роста клеток *S. mutans* и их подавлении судили по кинетике изменения оптической плотности  $D_{600}$ , зарегистрированной с помощью спектрофотометра Specord M-40. Изучение изменения рН среды (рисунок) показало, что штамм № 2 обладал наибольшей кислотообразующей способностью, а также проявлял высокую ростовую и оптико-редуктазную активность.



**Рисунок – Кислотообразующая активность 4-х штаммов выделенных микроорганизмов *S. mutans* в солевой среде М9 с сорбитом**

В этой связи он был выбран для исследования влияния антикариесных веществ на *S. mutans* [1]. В качестве антимикробного вещества служил фермент лизоцим. Анализ кинетики изменения  $D_{600}$  суспензии *S. mutans* показал, что концентрация клеток уменьшается в 2 раза за 1 ч., что указывает на возможность использования фермента для борьбы с возбудителем кариеса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Теппер, Е.З. Практикум по микробиологии. – М.: Дрофа, 2004.– 256 с.

УДК 628.356

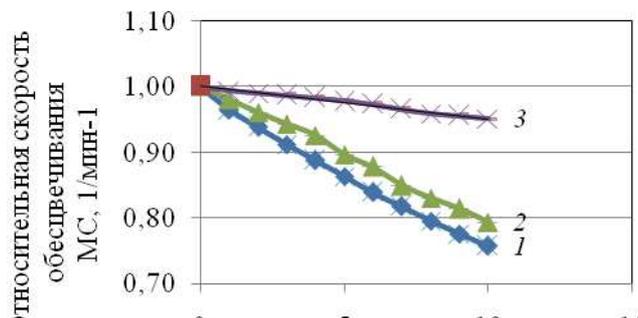
Студ. Е.В. Шаболик

Науч. рук. доц. А.В.Игнатенко (кафедра биотехнологии, БГТУ)

### ОПТИКО-РЕДУКТАЗНЫЙ ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНГИБИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Одним из основных показателей качества молока является наличие ингибирующих веществ, среди которых наиболее часто встречаются антибиотики, используемые для лечения животных. Своевременное определение ингибиторов в производственных условиях является актуальной задачей. Наиболее простой и доступной при приемке-сдаче молока служит редуктазная проба (РП), однако ее недостатками являются относительная длительность и субъективность контроля конечной точки обесцвечивания красителя метиленового синего (МС+). Предложенный [1] оптико-редуктазный метод (ОРМ) позволяет их устранить.

Цель работы – анализ возможности применения ОРМ для обнаружения антибиотиков в молочной сыворотке. В работе использовали культуру клеток *E. coli* из коллекции кафедры биотехнологии и растворы стрептомицина (10–50 мкг/мл). На рисунке приведены результаты анализа редуктазной активности *E. coli*.



**Рисунок – Кинетика обесцвечивания МС+ клетками *E. coli* в молочной сыворотке в присутствии стрептомицина:  
1 – контроль; 2 – 10 мкг/мл; 3 – 50 мкг/мл**

ОРМ позволяет сократить время определения содержания ингибирующих веществ в молочной сыворотке с 5 ч при РП с МС+ до 10 мин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатенко, А. В. Биотестирование токсичности водных сред методом редуктазной пробы / А. В. Игнатенко // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – Минск: БГТУ, 2018. – № 2 (211). – С. 155–160.

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАНОВОЛОКОН, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ, В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Среди известных промышленных методов получения химических волокон электроформование нетканых волокнистых материалов занимает особое место, отличаясь аппаратурной простотой, высокой энергетической эффективностью, гибкостью технологического процесса и разнообразием продукции [1].

ЭФ-волокна и материалы, полученные на их основе, применяются в целом ряде областей: медицине, биоинженерии, электронике, в фильтрации газов и жидкостей, в создании композиционных материалов и др. При этом в промышленных масштабах ЭФ-продукция производится лишь для создания различных фильтров и традиционных медицинских применений. У исследователей же наибольший интерес вызывает применение ЭФ-продукции в биоинженерии и медицине [3].

В химической технологии электроформовочные волокна нашли применение в фильтрации газов и жидкостей.

Для ЭФ-продукции фильтрация газов была и остается до настоящего момента главной сферой применения, в которой она по праву занимает ведущие позиции при решении целого ряда практических задач, где требуется высокая эффективность улавливания малых примесей. К таким задачам относится защита производственного персонала и окружающей среды от радиоактивных, токсичных и бактериальных аэрозолей, а также обеспечение чистоты и стерильности технологических газовых сред и атмосферы рабочих зон в производствах особо чистых веществ, лекарств, продуктов питания, биопрепаратов, материалов и изделий электронной и аэрокосмической техники [1].

Фильтры из нановолокон используются при очистке от атмосферной пыли воздуха, используемого в промышленном процессе каталитического окисления нафталина и о-ксилола во фталевый ангидрид – важный промежуточный продукт в производстве различных производных фталевой кислоты (сложных эфиров, фталимида, фталонитрила и др.), глифталевых и пентафталевых смол, красителей (фенолфталеина, флуоресцеина, родамина и антрахинона) и лекарственных средств (фталазола, фенилина). Бактериальные фильтры на основе гидролитически стойких волокнистых материалов ФП применяют в процессах асептического консервирования, глубинного выращивания микроорганизмов при производстве антибиотиков, аэробной ферментации и в иных микробиологических техно-

логиях [3]. Если в решении целого ряда практических задач фильтрации газов ЭФ-продукция играет существенную, а часто и решающую роль, то в фильтрацию жидкостей ее вклад ограничен. Это связано со сравнительно низкими значениями коэффициентов захвата гидрозольных частиц микронных и субмикронных размеров, обусловленного преимущественно единственным для них механизмами – зацеплением. Однако ЭФ фильтры используются в сочетании с мембранными и нуклепорными фильтрами, что повышает емкость таких двухслойных фильтров и увеличивает их временной ресурс. При этом волокнистый слой играет роль предварительного фильтра, накапливающего основную часть осадка в своем объеме, а мембранный или нуклепорный фильтры - роль высокоэффективного финишного. Такие фильтры применяют в производстве чистых веществ, реагентов, фотоматериалов, продуктов питания (масло, вино, соки), а также в авиации для очистки топлива и масел [3].

ЭФ-процесс позволяет получать нано- и субмикронные волокна, поэтому для применения в качестве армирующего компонента композиционных материалов ЭФ – волокна могут иметь ряд преимуществ перед традиционными полимерными, стеклянными и углеродными волокнами, диаметр которых составляет несколько мкм. Композиты на основе ЭФ-войлоков получают двумя способами: выкладывают пакет из нескольких слоев ЭФ-войлока, пропитывают связующим и формируют изделие, либо нарезают ЭФ-войлок на небольшие кусочки, перемешивают с жидким связующим и формируют изделие [4]. ЭФ-материалы для такого применения получают из ПАНа, полибензоимидазола, нейлона – 4,6 и добавляют в количестве 5–15% масс. к полимерной матрице. Это позволяет увеличить прочность на разрыв и при изгибе, а также модуль упругости на 20–40% по сравнению с исходным неармированным материалом. Однако более существенного увеличения механических характеристик введением ЭФ-материалов не удастся. Прежде всего, это связано с хаотичной ориентацией ЭФ-волокон, а для создания прочных композитов необходима направленная ориентация их в матрице.

Существует и ряд преимуществ использования ЭФ-волокон для получения композитов. Большое отношение поверхности к объему ЭФ-нановолокон позволяет использовать ЭФ-войлоки для улучшения межслоевой прочности ламинатов. Так как диаметр ЭФ-нановолокон сравним или меньше длины волны видимого света, то возможно получение оптически прозрачных материалов в отличие от непрозрачных композитов на основе микронных волокон. Кроме того, перспективным для армирования пластиков может явиться получение индивидуальных непрерывных ЭФ-волокон с их последующим текстильным переделом, что, однако, требует, как научных, так и технологических решений [5].

В последние годы нановолокна, полученные путем электроформования, широко изучались для использования в качестве катализаторов. Эти нановолокна изготавливают из различных полимеров, металлов, оксидов и солей путем электроформования, иногда с последующей обработкой после электроформования (например, прокаливанием и химическим восстановлением). Хотя некоторые из этих нановолокон сами по себе являются довольно эффективными катализаторами химических реакций, многие из них используются в качестве вспомогательных материалов для активных катализаторов, включая ферменты, наночастицы металлов и оксидные наноструктуры. Большая площадь поверхности и оптимальная химия поверхности электроформованных нановолокон значительно улучшают взаимодействие катализатора с носителем и улучшают их активность, селективность, стабильность и возможность повторного использования в катализе. В результате катализаторы на основе электроформования из нановолокна продемонстрировали большой потенциал в ряде важных химических процессов [6].

#### **Катализатор на основе NiO и Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>**

Создание благородных и недорогих катализаторов с высокой каталитической эффективностью для реакции электрокаталитического выделения водорода играет важную роль в устойчивом преобразовании и хранении энергии. Выделение водорода в двухфазных системах органическим растворимым электронодонорным декаметилферроценом эффективно катализируется катализаторами из нановолокон Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и NiO, которые изготавливаются с помощью недорогого и простого метода электроспиннинга. Каталитическая активность этих металлоксидных нановолокон была исследована с помощью двухфазных реакций и четырехэлектродной циклической вольтамперометрии на границе вода / 1,2-дихлорэтан. Скорость реакции выделения водорода в нановолоконных катализаторах также сравнивают с объемными формами этих металлоксидных катализаторов. Скорость реакции увеличивается в 74, 152, 284 и 384 раза при использовании объемных и нановолоконных форм Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и NiO соответственно по сравнению с некатализируемой реакцией. Более высокую каталитическую активность металлоксидных нановолокон можно объяснить повышенным отношением поверхности к объему, выявленным в волоконистых структурах [7].

#### **Катализатор на основе Cu (0) и углеродных нановолокон**

Композитный катализатор из углеродных нановолокон (Cu/CNF) был разработан методом электроформования на основе гомогенного полимерного раствора и высокотемпературной карбонизации. Недавно разработанный катализатор был тщательно охарактеризован с помощью ряда методов определения характеристик. На катализаторе Ульмана проводили

сочетание N-гетероциклических соединений, реакции N-ариллирования и широкого ряда арилгалогенидов, и катализатор проявлял превосходную каталитическую активность, селективность и рециклируемость [8].

#### **Катализатор на основе Ag и Mn нанесенных на ZrO<sub>2</sub>**

Нановолокна мезопористого диоксида циркония синтезировали методом электроспиннинга и прокаливания при 600 °С. Оксиды Ag и Mn наносились по отдельности или одновременно на нановолокна ZrO<sub>2</sub> методами пропитки. Структуру материалов на основе нановолокон, нанесенных на ZrO<sub>2</sub>, исследовали методами рентгеновской дифракции (XRD), просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (HR-TEM), энергодисперсионной спектроскопии (EDS) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS). Оксиды Ag и Mn были равномерно нанесены на поверхность нановолокон ZrO<sub>2</sub>. Металлические частицы Ag и Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> образуются на нановолокнах ZrO<sub>2</sub> при их отдельном осаждении, тогда как кодовое расположение Ag и Mn изменяет степень окисления оксидов Mn на поверхности катализатора. Нанесенные катализаторы были оценены по их эффективности окисления сажи и бензола. Совместное осаждение Ag и Mn снижает температуру выключения при окислении бензола. Характеристики окисления сажей были сопоставимы для катализаторов Ag / ZrO<sub>2</sub>, Mn / ZrO<sub>2</sub> и Ag-Mn / ZrO<sub>2</sub> в режиме плотного контакта, тогда как Ag / ZrO<sub>2</sub> проявлял наибольшую активность, и активность снижалась при уменьшении содержания Ag в режиме слабого контакта [9].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Филатов Ю. Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). М.: Нефть и Газ, 1997, с. 3, 200.
2. Sigmund W, Yuh J, Park H, Maneeratana V, Pyrgiotakis G, Daga A, et al. Processing and Structure Relationships in Electrospinning of Ceramic Fiber Systems. // J. Am. Ceram. Soc., 2006, p. 395
3. Получение нановолокон методом электроформования А.Т. Матвеев, И.М. Афанасов, с. 64–67
4. Bergshoef MM, Vancso Gj. Transparent nanocomposites with ultrathin, electrospun Nylon-4,6 fiber reinforcement. // Adv. Materials, 1999, 11:1362-1365.
5. Получение нановолокон методом электроформования А.Т. Матвеев, И.М. Афанасов, с. 73-74
6. Ping Lu, Simone Murray, Min Zhu Electrospinning: nanofabrication and applications, 2019, p. 695
7. Gizem Yanalak, Abdalaziz Aljabour, Emre Aslan, Faruk Ozel, Mustafa Ersoz electrochimica acta, Volume 291, 20 November 2018, Pages 311-318

8. Hongchun Mu, Chunping Li, Jie Bai, Weiyan Sun Journal of Molecular Structure, Volume 1165, 5 August 2018, Pages 90-100

9. Chanmin Lee, Yong-Gun Shul, Hisahiro Einaga Catalysis Today, Volume 281, Part 3, 1 March 2017, Pages 460-466

УДК 665.662.37

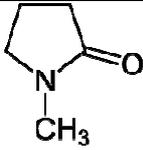
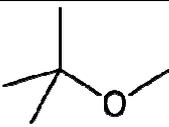
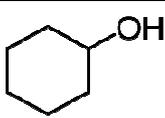
Студ. О.А. Ушева, Е.И. Жданова, В.И. Жолнеркевич  
Науч. рук. проф. Е.И. Грушова  
(кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, БГТУ)

### **СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАФИНАТОВ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ МАСЛЯНЫХ ФРАКЦИЙ НЕФТИ**

Несмотря на широкое внедрение гидрогенизационных процессов – гидроочистки, гидрокрекинга в технологию производства минеральных масел, процессы селективной очистки масляных фракций нефти с применением полярных растворителей (фенола, фурфурола, N-метилпирролидона) не только продолжают функционировать на нефтеперерабатывающих заводах, но и совершенствуются в основном за счет применения эффективных экстрагентов.

Цель данной работы состояла в разработке малозатратного способа интенсификации селективной очистки масляных фракций нефти N-метилпирролидоном – растворителем, который на данный момент признан как наиболее технологичный разделяющий агент. Однако N-метилпирролидон по своей растворяющей способности уступает фенолу и это отрицательно влияет на процесс очистки высококипящих масляных фракций нефти от нежелательных компонентов – полициклических ароматических углеводородов с короткими алкильными цепочками, смолисто-асфальтеновых веществ, серо- и азотсодержащих соединений. Как известно [1], одним из доступных способов интенсификации селективной очистки, как с точки зрения технологического оформления процесса, так и материальных затрат, является использование для экстракции системы базовый экстрагент+соэкстрагент. Последний вводили в базовый экстрагент в количестве не более 5 мас.% и за счёт локального воздействия на базовый разделяющий агент изменяли его полярность и, соответственно, селективную и растворяющую способность. В данной работе в качестве соэкстрагента к N-метилпирролидону (N-МП) были исследованы метил-третбутиловый эфир (МТБЭ) и циклогексанол. Основные физико-химические свойства растворителей приведены в таблице 1.

Таблица 1– Основные свойства растворителей

Показатель	N-метилпирролидон	МТБЭ	Цикло-гексанол
Структурная формула			
Плотность, $\rho_4^{20}$	1.027	0.740	0.9478
Показатель преломления $n_D^{20}$	1.4706	1.3690	1.4644
Температура кипения, °С	204	55.2	161.1
Дипольный момент	4.1	1.36	1.90
Теплота испарения при 20 °С, кДж/моль	493.1	44.63	60.2

Эффективность действия соэкстрагентов оценивали по данным селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-2, свойства которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные свойства вакуумного дистиллята

Показатель	ВД-2
Фракционный состав:	
Температура выкипания 5%, °С	не менее 377,5
Температура выкипания 95%, °С	не более 604,5
Температура вспышки (в открытом тигле), °С	220
Показатель преломления, $n_D^{50}$	1,5025
Плотность, кг/м <sup>3</sup> при 50 °С	925,6
Вязкость $\nu^t$ , (м <sup>2</sup> /с)·10 <sup>6</sup> :	
при 70 °С	16,52
при 60 °С	22,54
при 50 °С	31,15

Экстракцию проводили при 50°С, при кратности растворитель:сырьё равной 3:1. Выделение рафината и экстракта из их растворов с экстрагентом осуществляли согласно [1]. В таблице 3 приведены показатели селективной очистки ВД-2 N-МП и N-МП, содержащим соэкстрагент. Согласно данным, представленным в таблице 3, введение в N-МП добавки циклогексанола положительно влияет на процесс селективной очистки, так как улучшается качество рафината за счет повышения селективности очистки масляной фракции от низкоиндексных компонентов. При этом практически не изменяется выход рафината. Добавка МТБЭ менее эффективно воздействует на N-МП, чем добавка циклогексанола.

Таблица 3 – Показатели селективной очистки

Показатель	Экстррагент		
	N-МП	N-МП + 3мас.% МТБЭ	N-МП + 3мас.% цик- логексанол
Выход рафината, мас.%	56.0	54.9	56.1
Показатель преломления рафината, $n_D^{20}$	1.4745	1.4735	1.4720
$\nu_{50} / \nu_{60}$	1.46	1.54	1.36
Селективность, S	0.0640	0.0643	0.0694

Исследование структурно-группового состава полученных рафинатов методом ИК-спектроскопии подтверждает вышеизложенное (таблица 4). Использование для очистки системы N-МП+ циклогексанол позволяет снизить содержание ароматических серо- и кислородсодержащих структур в рафинате, увеличилось содержание парафиновых структур. В результате снижается показатель преломления рафината, улучшается вязкостно-температурная характеристика ( $\nu_{50} / \nu_{60}$ ).

Таблица 4 – Структурно-групповой состав

Спектральные коэффициенты	ВД-2	Рафинат		
		N-МП	N-МП+3мас.% МТБЭ	N-МП+3мас.% циклогексанол
C <sub>A</sub>	1.22	0.97	0.95	0.94
C <sub>A3</sub>	1.13	1.00	1.00	1.01
C <sub>П</sub>	0.82	1.03	1.05	1.06
C <sub>P</sub>	0.53	0.94	0.90	0.90
C <sub>S</sub>	2.08	0.86	0.80	0.70
C <sub>0</sub>	2.14	0.85	0.81	0.78

Таким образом, выполненные исследования позволили установить следующее. Обе испытуемые добавки к N-МП влияют на процесс селективной очистки масляного дистиллята ВД-2. Однако, по эффективности воздействия циклогексанол превосходит МТБЭ: улучшается структурно-групповой состав масел, и, соответственно, его свойства – вязкостно-температурная характеристика, возрастает степень очистки от низкоиндексных компонентов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грушова Е.И., Юсевич А.И. Применение добавок химических соединений для интенсификации процессов экстракции, флотации, адсорбции. – Минск: БГТУ, 2006. –182с.

УДК 665.637.88

Магистрант Б.Ж. Хаппи Вако; студ. Ю.А. Степанович

Науч. рук. ст. преп. А.О. Шрубок

(кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, БГТУ)

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ВВЕДЕНИЯ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ БИТУМОВ**

Увеличение глубины переработки нефти привело к ухудшению качества нефтяных остатков, используемых при производстве нефтяных битумов. Окисление по традиционной технологии обедненного маслами и смолами гудрона приводит к ухудшению качества выпускаемых битумных вяжущих и не соответствует им по ассортименту и качеству требованиям современного рынка. В связи с этим важными и актуальными задачами для нефтеперерабатывающей промышленности являются поиск нового сырья и компонентов для получения битумных вяжущих и разработка новых составов с улучшенными свойствами. Одним из способов решения указанных задач является использование полимеров в качестве модификаторов битума, что позволяет увеличить температурный интервал работоспособности битумного вяжущего и улучшить его физико-механические свойства. Кроме полимеров в состав битумполимерных вяжущих необходимо вводить различные пластификаторы (гудрон, масла, керосин и т.п.) для улучшения совместимости полимера и битума, повышения физико-механических свойств готового вяжущего. Однако применение полимеров и пластификаторов значительно увеличивает себестоимость битумполимерного вяжущего, т.к. они являются дорогостоящими материалами.

Для использования в производстве битумных вяжущих полимеры должны обладать следующими свойствами: иметь хорошую совместимость с битумом, не разрушаться при температуре приготовления вяжущего, образовывать структурную сетку в битуме при минимальных концентрациях, иметь высокую химическую и физическую стабильность, должны соответствовать нормам токсичности и пожаробезопасности (не ниже, чем для битумов).

Одним из способов снижения себестоимости битумполимерных вяжущих является применение в качестве полимерного компонента вторичных полимеров, полимерсодержащих отходов. К числу таких компонентов можно отнести низкомолекулярный полиэтилен (НМПЭ), образующийся при получении полиэтилена высокого давления. Низкомолекулярный полиэтилен в качестве добавки к нефтяным легко растворяется в дисперсионной среде, способствует ее ассоциации и структурированию, обладает низкими токсичными свойствами. Уста-

новлено [1], что использование до 7 мас. % НМПЭ в качестве добавки к нефтяному гудрону в процессе окисления приводит к значительному возрастанию температуры размягчения и термической чувствительности битумов.

Целью данной работы являлось определение способа введения низкомолекулярного полиэтилена для получения битумного вяжущего.

Были получены битумполимерные вяжущие по одностадийной схеме компаундирования битума с полимерами, согласно которой битум смешивается с НМПЭ при температуре 150–200 °С и интенсивном перемешивании с помощью диспергатора T18 Digital Ultra-Turrax. Для полученных битумполимерных вяжущих были определены температура размягчения, пенетрация, индекс пенетрации и температура хрупкости. В таблице показано сравнение получаемых битумных вяжущих при использовании 5% мас. НМПЭ в качестве добавки к сырью окисления и в качестве компонента компаундированного битума.

**Таблица – Сравнение свойств битумных вяжущих**

Показатель	Битум	Битум, полученный окислением гудрона с добавкой 5 % мас. НМПЭ	Битум + 5 % мас. НМПЭ
Температура размягчения, °С	51	45	58
Пенетрация, ×0,1 мм	73	197	63
Индекс пенетрации	0	1,9	1,22
Температура хрупкости, °С	–18	–30,5	–46

Согласно полученным экспериментальным данным, при смешение добавки НМПЭ непосредственно с готовым битумом приводит к резкому возрастанию температуры хрупкости и снижению индекса пенетрации, т.е. в большей степени оказывает влияние на свойство получаемого вяжущего в сравнении с битумом, полученным окислением нефтяного гудрона, содержащего НМПЭ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Степанович, Ю.А. Использование отходов полимеров в производстве окисленных битумов / Ю.А. Степанович, Б.Ж. Хаппи Вако, А.О. Шрубок // Труды БГТУ. – 2019. №1. – С.72–76.

## **ПОЛУЧЕНИЕ ОКИСЛЕННЫХ БИТУМОВ С УЛУЧШЕННОЙ ПОГОДОУСТОЙЧИВОСТЬЮ**

С каждым годом возрастающая интенсивность износа дорожных покрытий приводит к ужесточению стандартов качества материалов для дорожного строительства. Это обуславливает необходимость поиска новых вяжущих материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, среди которых наиболее перспективными являются полимерно-битумные вяжущие (ПБВ), представляющие собой битумы в смеси с добавкой полимерного компонента. Зачастую полимеры являются структурирующими добавками за счёт распределения в дисперсной среде или создания собственной структурной сетки в битуме. Использование полимеров, таких как сополимеры типа стирол-бутадиен-стирол, полиэтилен, полипропилен и т.п., позволяет получать материалы, обладающие улучшенными физико-химическими свойствами нехарактерными для битумов, полученных по традиционным технологиям [1].

Однако применение полимеров в качестве модификаторов нефтяных битумов приводит к резкому увеличению себестоимости ПБВ, поэтому исследования, направленные на снижение себестоимости битумных материалов и улучшения их эксплуатационных характеристик, являются актуальными и экономически целесообразными. Так, одним из наиболее перспективных способов снижения себестоимости ПБВ является использование различных полимерных промышленных отходов, таких как резиновая крошка, отходы бутадиен-стирольного каучука и поливинилбутираля [2, 3].

Интерес для использования в качестве добавки к нефтяным битумам также представляет такой полимерсодержащий отход как низкомолекулярный полиэтилен (НМПЭ), который образуется при производстве полиэтилена высокого давления. Средняя молярная масса НМПЭ находится в пределах 1000-5000 г/моль, а содержание СН<sub>3</sub>-групп в 3 раза превышает содержание в полиэтилене высокого давления [4].

В ранее проведенных исследованиях [5] было установлено, что введение низкомолекулярного полиэтилена непосредственно в нефтяной гудрон в процессе окисления позволяет получать однородный битумный материал, обладающий эксплуатационными свойствами и дисперсными характеристиками, которые позволяют его применять в дорожном строительстве.

Учитывая, что важными эксплуатационными показателями, которым должны соответствовать вяжущие материалы на основе битума, является долговечность и способность материала противостоять воздействию атмосферным факторам в условиях эксплуатации, представляло интерес изучить влияние добавки низкомолекулярного полиэтилена к нефтяному гудрону в процессе окисления на погодоустойчивость и долговечность получаемого битума. Погодоустойчивость определяется интервалом температур, в котором битум сохраняет пластичные свойства (интервал пластичности). Для оценки эксплуатационных свойств битумов в различных погодных условиях используют такие показатели как температура размягчения и температура хрупкости битума, разность между которыми определяет температурный интервал пластичности материала.

Было установлено продолжительность окисления нефтяного гудрона в смеси с низкомолекулярным полиэтиленом, необходимая для достижения в процессе окисления температуры размягчения битума, наиболее подходящего для использования в климатических условиях Республики Беларусь – дорожного битума марки БНД 70/100 [5]. Согласно СТБ EN 12591-2009 температура размягчения битума этой марки должна принимать значения в пределах от 43°C до 51°C. Были получены битумы с различным содержанием добавки НМПЭ с заданной температурой размягчения. Для полученных битумов были определены температура размягчения по методу «Кольцо и шар», пенетрация при 25°C, температура хрупкости по Фраасу, а также рассчитаны индекс пенетрации и интервал пластичности. Характеристики полученных битумов представлены в таблице.

**Таблица – Характеристики полученных битумов**

Показатель	Содержание низкомолекулярного полиэтилена в исходном сырье, % мас.			
	0	4,0	5,0	7,0
Температура размягчения, °С	47,5	45,3	45,0	46,7
Пенетрация при 25°C, х0,1 мм	205	193	197	201
Температура хрупкости, °С	-23,0	-33,0	-30,5	-25,7
Индекс пенетрации	3	1,9	1,9	2,6
Интервал пластичности, °С	70,5	78,3	75,5	72,4

Согласно представленным данным введение в нефтяной гудрон НМПЭ перед процессом окисления при заданной температуре размягчения незначительно влияет на пенетрацию. В то же время при введении добавки НМПЭ в количестве 4% мас. к сырью наблюдается понижение температуры хрупкости и индекса пенетрации. С последующим увеличе-

нием концентрацией полимера в сырье температура хрупкости и индекс пенетрации возрастают, интервал пластичности уменьшается.

Исходя из приведенных экспериментальных данных, можно сделать вывод о том, что битумы полученные окислением гудрона в смеси с добавкой низкомолекулярного полиэтилена обладают лучшей погодоустойчивостью. Битумы, полученные окислением с добавкой, отличаются более низкой температурой хрупкости и индексом пенетрации, а введение в битум НМПЭ в количестве 4% мас. позволяет увеличить интервал пластичности на 11%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства. Обзорная информация / Л.М. Гохман [и др.]; М.: Информавтодор, 2002. – 112 с.

2. Евдокимова, Н.Г. Разработка научно-технологических основ производства современных битумных материалов: дис. ... докт. техн. наук: 05.17.07/ Н.Г. Евдокимова. – Москва, 2007. – 417 с.

3. Евдокимова, Н.Г. О возможности получения кровельных битумов окислением гудрона с низкомолекулярным полиэтиленом // Нефтегазовое дело [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: [http://www.ogbus.ru/authors/Evdokimova/Evdokimova\\_3.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Evdokimova/Evdokimova_3.pdf). – Дата доступа: 19.09.2018.

4. Павлов, А.В. Основные направления использования низкомолекулярного полиэтилена и его влияние на свойства нефтепродуктов / А.В. Павлов, А.А. Ермак // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. - 2008. - № 2. - С. 117-122

5. Степанович, Ю. А. Использование отходов полимеров в производстве окисленных битумов / Ю. А. Степанович, Б. Ж. Хаппи Вако, А. О. Шрубок // Труды БГТУ. - 2019. - № 1 (217). – С. 72–76.

УДК 547.7:666.186

Студ. Е.М. Осипёнок

Науч. рук. зав. кафедрой А.И. Юсевич  
(кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии)

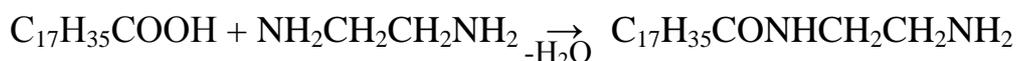
## СИНТЕЗ 2-ГЕПТАДЕЦИЛ-2-ИМИДАЗОЛИНА И ИЗУЧЕНИЕ ЕГО ПОВЕРХНОСТНОЙ АКТИВНОСТИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Имидазолиновые поверхностно-активные вещества используются в качестве присадок к маслам, эмульгаторов для получения битумных эмульсий, ингибиторов коррозии нефтепромыслового и нефтехимического оборудования. Их широкое применение обусловлено высокой поверхностной активностью, хорошей смачиваемостью, биоразлагаемостью [1].

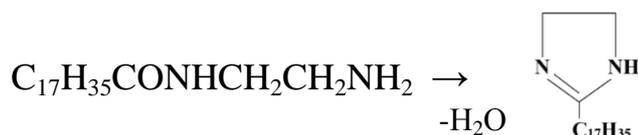
Представлено большое количество работ, в которых получают имидазолины на основе жирных кислот и полиэтиленполиаминов [2,3]. В это же время синтез и свойства 2-алкиимидазолинов, незамещенных в первом положении, описаны мало.

В представленной работе синтезировали 2-гептадецил-2-имидазолин из стеариновой кислоты и этилендиамина в две стадии.

Первая стадия – это реакция амидирования, которая протекает в температурном интервале 120–160 °С с выделением воды:



На второй стадии протекает реакция циклизации при температурах 180–225 °С.



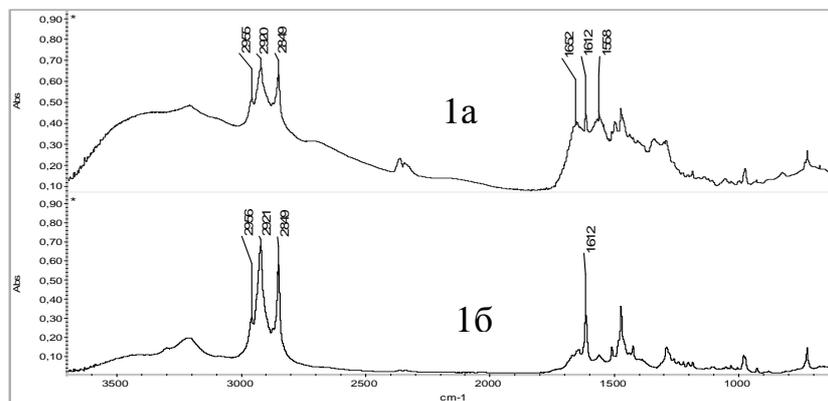
Этилендиамин брали с 3-х кратным избытком относительно стеариновой кислоты и проводили синтез в среде высококипящего растворителя тетрадекана для подавления побочной реакции образования этилен бис-стеарамида (диамида).

По окончании синтеза с помощью ИК-Фурье спектрометра ФСМ 1202 был снят инфракрасный спектр реакционной смеси, который представлен на рисунке 1а.

На спектре присутствует полоса в области 1612 см<sup>-1</sup>, которая относится к С=N связи имидазолинового кольца. Также присутствуют полосы в области 1662 см<sup>-1</sup> и 1558 см<sup>-1</sup>, относящиеся к связям С=О и N-H амидной группы и принадлежащие диамиду. Было установлено, что при использовании этилендиамина в качестве амидирующего

агента избежать побочного образования диамида не удастся, можно лишь минимизировать его выход описанными выше приемами.

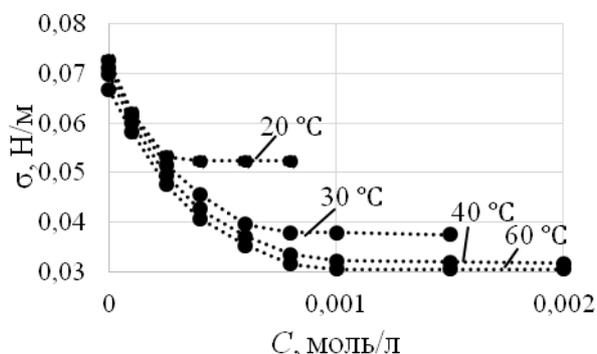
Поэтому была разработана методика выделения 2-гептадецил-2-имидазолина из реакционной смеси экстракцией хлороформом и перекристаллизацией из гексана. ИК-спектр полученного продукта показан на рисунке 1б.



**Рисунок 1 – ИК-спектр реакционной смеси (а) и 2-гептадецил-2-имидазолина (б)**

На ИК-спектре явно выражена полоса имидазолинового кольца в области  $1612\text{ см}^{-1}$ , в то время как интенсивность амидных полос низка, что доказывает эффективность разработанной нами методики выделения.

Синтезированный 2-гептадецил-2-имидазолин не растворяется в воде, поэтому для изучения его поверхностной активности необходимо было перевести его в форму гидрохлорида. Поверхностное натяжение водных растворов гидрохлорида 2-гептадецил-2-имидазолина определяли сталагмометрическим методом в области температур  $20\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Изотермы поверхностного натяжения представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Изотермы поверхностного натяжения**

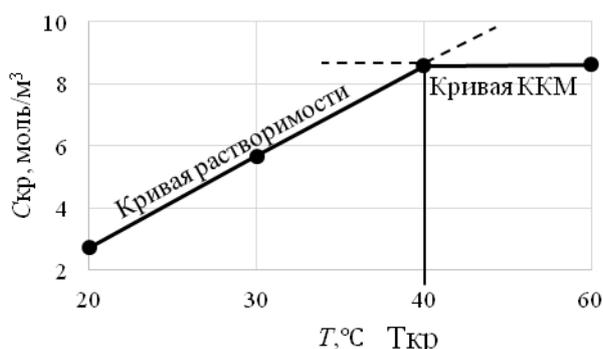
По изотермам были определены критические значения концентрации и поверхностного натяжения, которые представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Поверхностное натяжение водных растворов 2-гептадецил-2-имидазолина в области критической концентрации**

T, °C	C <sub>кр</sub> , моль/л	σ <sub>кр</sub> , Н/м
20	2,726·10 <sup>-4</sup>	0,0524
30	5,679·10 <sup>-4</sup>	0,0379
40	8,584·10 <sup>-4</sup>	0,0324
60	8,627·10 <sup>-4</sup>	0,0306

Нелинейное изменение поверхностного натяжения в зависимости от температуры в области насыщения изотерм объясняется эффектом Крафта [4]. Этот эффект отражает влияние ограниченной растворимости ПАВ в фазе растворителя на процесс мицеллообразования. Температура, при которой начинается образование мицелл, называется точкой Крафта. По данным из таблицы 1 была построена фазовая диаграмма на рисунке 3.

Изотермы, построенные при температурах до 40 °С, показывают предел растворимости ПАВ в воде, когда мицеллы не образуются и поверхностный слой не заполнен, а «лишние» молекулы ПАВ выделяются в новую фазу. При температурах 40 °С и 60 °С критическая концентрация изменяется слабо, что свидетельствует о достижении значения критической концентрации мицеллообразования (ККМ) при достаточной растворимости ПАВ в воде.



**Рисунок 3 – Фазовая диаграмма 2-гептадецил-2-имидазолина в воде**

Используя полученные изотермы поверхностного натяжения при 40 и 60 °С рассчитали предельную адсорбцию Гиббса, посадочную площадку для молекулы и термодинамические характеристики процесса мицеллообразования. Данные сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Параметры адсорбции и мицеллообразования

T, °C	$\Gamma_{\infty}$ , моль/м <sup>2</sup>	$S_m$ , м <sup>2</sup>	$\Delta G$ , Дж/моль	$\Delta H_M$ , Дж/моль	$\Delta S_M$ , Дж/моль·К
40	$1,449 \cdot 10^{-5}$	$1,146 \cdot 10^{-6}$	-28807,26	-26,057	91,93
60	$1,36 \cdot 10^{-5}$	$1,221 \cdot 10^{-6}$	-30634,14		

По полученным данным видно, что с увеличением температуры адсорбция Гиббса уменьшается. Причиной этому является тепловое движение молекул, которое препятствует адсорбции на межфазной поверхности. Посадочная площадка молекулы увеличивается с ростом температуры также из-за теплового движения частиц, так как молекулы на межфазной поверхности расталкивают соседние молекулы, увеличивая свою площадку. Процесс мицеллообразования носит энтропийный характер, так как изменение энтропии вносит больший вклад в уменьшении свободной энергии системы, чем изменение энтальпии.

По полученным результатам можно сделать вывод, что 2-гептадецил-2-имидазолин уменьшает поверхностное натяжения приблизительно в два раза, но применение данного ПАВ ограничено из-за плохой растворимости при низких температурах. Увеличению растворимости будет способствовать введение полярных заместителей в имидазолиновое кольцо в 1 и 3 положение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белов, П.С. Новые поверхностно-активные вещества на основе замещенных имидазолинов. Тематические обзоры / П.С. Белов, В.И Фролов, Б.Е Чистяков – Москва, 1975. – 54 с.
2. Бадикова, А.Д. Разработка технологии получения имидазолинов – ингибиторов коррозии / А. Д.Бадикова [и др.] – Нефтехимия, 2016. – Т.56, №4. – с.419-424.
3. Загидуллин Р.Н., Рахманкулов Д.Л., Рысаев У.Ш., Рысаев Д.У, Козырева Ю.П., Мазитова И.Ш. Многоосновные амины. Сообщение V. Синтез производных 1,2-имидазолина // Баш. хим. ж.-2007.- Т.14, №4, С.21
4. Холмберг К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Йёнссон, Б. Кронберг, Б. Линдман; Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 528с.

УДК 665.65

Студ. Г.Д. Блинецов, М.А. Горошко, М.В. Станько  
 Науч. рук. проф. Е. И. Грушова  
 (кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии)

## ПОЛУЧЕНИЕ ВЯЖУЩЕГО СОВМЕСТНЫМ ОКИСЛЕНИЕМ НЕФТЯНОГО ГУДРОНА С ДОБАВКОЙ ПЕНТАЭРИТРИТА

Нефтяные битумы – это основной вид вяжущих материалов, применяемых в дорожном строительстве. Для обеспечения высокого уровня эксплуатационных показателей (долговременной прочности, теплостойкости и т. д.) современные битумные вяжущие модифицируют полимерами (например, блок-сополимерами типа СБС, атактический полипропилен). Однако полимерно-битумные вяжущие проявляют склонность к расслоению в период эксплуатации, имеют высокую себестоимость. Поэтому в данной работе стояла задача разработать вяжущее, которое бы отличалось использованием более дешёвых и доступных компонентов по сравнению с компонентами полимерно-битумных вяжущих, а по уровню своих основных эксплуатационных показателей практически не уступал бы им.

Принципиальные схемы технологий производства битумных и полимерно-битумных вяжущих имеет следующий вид:

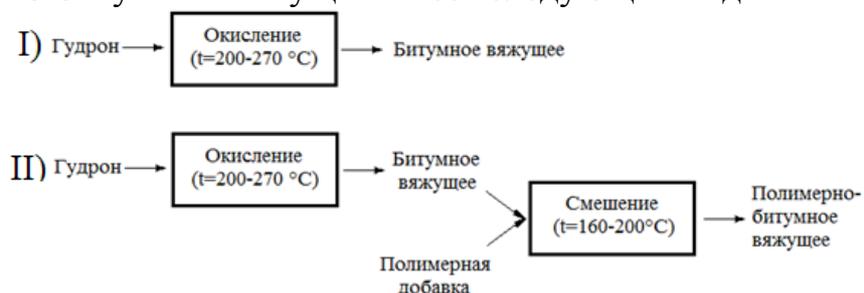


Рисунок 1 – Блок-схемы производства вяжущих

В данной работе получать вяжущее предлагается по схеме, представленной на рисунке 2.

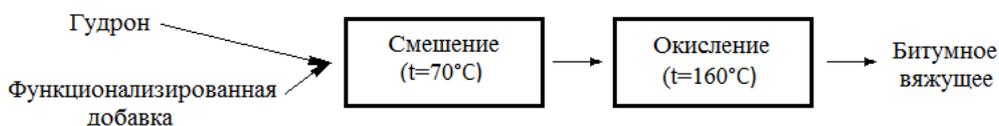


Рисунок 2 – Блок-схема предлагаемой технологии получения вяжущего

Как видно, реализация предлагаемого варианта позволяет снизить энергозатраты, затраты на исходные компоненты. Выбор температурного режима обусловлен тем, что чем ниже температура окисления, тем выше концентрация функциональных групп в реакционной массе [1]. В качестве функционализированной добавки был использован пентаэритрит (ПЭ) (таблица 1).

Таблица 1 – Основные свойства пентаэритрита

Показатель	Значение
Структурная формула	
Внешний вид	Белое кристаллическое вещество
Плотность, при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	1394
Температура плавления, °С	260,5

Синтез битумного вяжущего осуществляли согласно [2], при  $t=160$  °С в течение 8 часов. На рисунке 3 приведена зависимость температуры размягчения от времени термо-окислительной обработки.

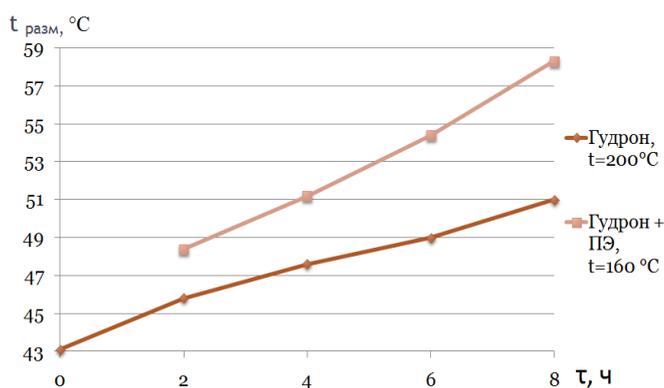


Рисунок 3 – Зависимость температуры размягчения вяжущего ( $t_{\text{разм}}$ ) от времени окисления ( $\tau$ )

Как видно, температура размягчения продуктов, полученных при окислении гудрона совместно с пентаэритритом, выше чем продуктов, полученных при окислении гудрона. Это свидетельствует о том, что добавка ПЭ интенсифицирует структурообразование при получении битумного вяжущего. Для получения битумного вяжущего с одинаковой температурой размягчения ( $t_{\text{разм}}=51$  °С), по предлагаемой технологии надо в 2 раза меньше времени. Результаты исследования структурно-группового состава полученных образцов вяжущих по данным ИК-спектров представлены в таблице 2.

Согласно данным таблицы 2 окисление гудрона совместно с ПЭ увеличивает количество ароматических структур, снижает парафинистость вяжущего.

Анализ группового состава битумов по Маркуссону (Таблица 3) показал, что при окислении гудрона с функционализированной добавкой возрастает доля дисперсной фазы, т.е. отношение  $A/(C+M)$ , и, соответственно, снижается отношение  $M/(C+A)$ , т.е. содержание в вяжущем дисперсионной среды.

**Таблица 2 – Структурно-групповой состав вяжущих  
на основе спектральных коэффициентов**

Спектральный коэффициент	Гудрон (t=200 °С)	Гудрон + 3 мас. % ПЭ (t=160 °С)
Степень ароматичности $C_A = \frac{D_{1600}}{D_{720}}$	0,93	1,23
Степень парафинистости $C_{II} = \frac{D_{720}}{D_{1600}}$	1,07	0,81
Содержание нафтеновых колец $C_H = \frac{D_{960}}{D_{1465}}$	0,08	0,11
Степень окисленности $C_O = \frac{D_{1700}}{D_{1465}}$	0,13	0,20
Степень осерненности $C_A = \frac{D_{1030}}{D_{1465}}$	0,10	0,18

**Таблица 3 – Групповой состав вяжущих**

Показатель	Исходное сырьё	
	гудрон (200°С)	гудрон+3мас.%ПЭ (160°С)
Содержание в вяжущем, мас. %:		
масел (М)	76,4	66,5
смола (С)	4,7	9,6
асфальтенов (А)	18,9	23,9
М/(С+А)	3,24	1,98
А/(С+М)	0,23	0,31

Таким образом, по предлагаемой технологии при существенном снижении энергетических затрат, затрат на исходные компоненты можно получить вяжущее с высокой степенью структурирования. Однако для обоснования оптимальных условий термоокислительного воздействия на смесь гудрона с ПЭ необходимо дополнительно исследовать влияние концентрации ПЭ в исходном сырье.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гун Р. Б. Нефтяные битумы // М.: Химия. 1973. С. 432.
2. Модификация свойств дорожных вяжущих полимерными отходами / О. В. Куис [и др.] // Труды БГТУ. – 2017. – серия 2. №2. – С. 64–68.

УДК 547.759.32

Магистрант А.И. Савельев, студ. А.Л. Пережогина  
 Науч. рук. зав. кафедрой С.Г. Михалёнок, проф. В. С. Безбородов  
 (кафедра органической химии, БГТУ)

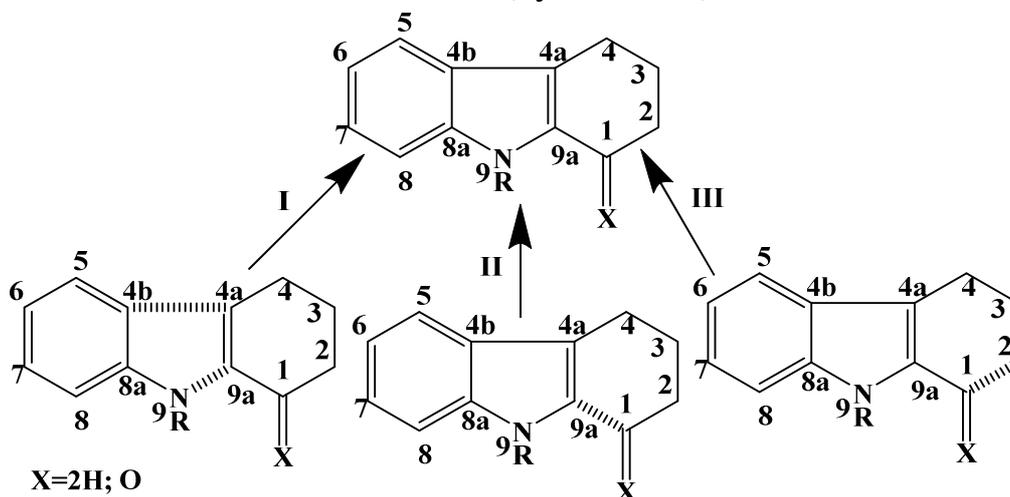
## МЕТОДЫ СИНТЕЗА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ТЕТРАГИДРОКАРБАЗОЛОВ

Широкий спектр биологической активности производных карбазола, включая активность в отношении бактерий, грибов, простейших, различных видов раковых клеток, анальгезирующие свойства, способность улучшать когнитивные функции, стимулирует к дальнейшему построению на основе каркаса карбазола различных биологически активных веществ.

Отдельного внимания заслуживают N-замещенные тетрагидрокарбазол-1-оны, так как многие биоактивные карбазолы обладают заместителями в этих положениях, к тому же такая функционализация тетрагидрокарбазола позволяет вводить различные заместители и открывает пути к построению более сложных гетероциклических систем.

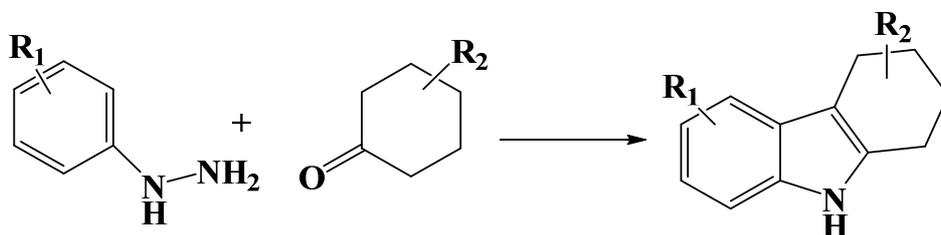
Можно выделить два основных подхода к получению тетрагидрокарбазолов и тетрагидрокарбазол-1-онов:

- образование трициклической системы, конденсацией моноциклических фрагментов (путь I);
- формирование циклогексенонового фрагмента при наличии ароматического индольного цикла (пути II и III).



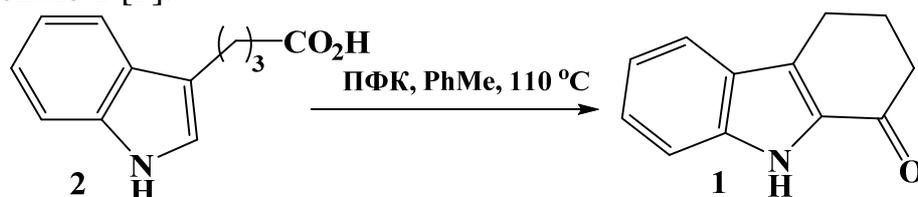
Наиболее распространенным и универсальным методом получения карбазолов является синтез индолов по Фишеру, заключающийся во внутримолекулярной конденсации арилгидразонов альдегидов или кетонов в присутствии кислот. Универсальность данного метода за-

ключается в том, что при использовании замещенных анилиновой и циклогексаноновой частей, возможно получить широкий спектр функционализированных тетрагидрокарбазолов.

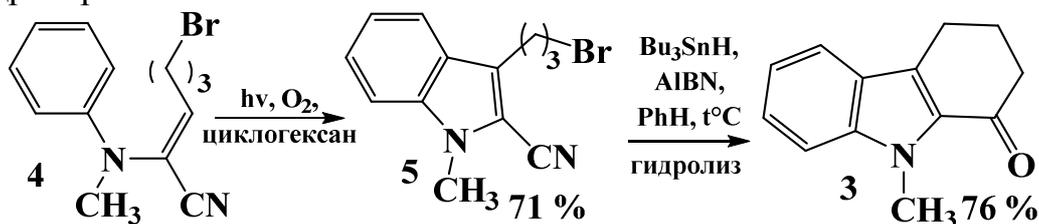


Стоит отметить, что при синтезе замещенных тетрагидрокарбазолов по Фишеру можно столкнуться с трудностью в связи с получением двух изомерных соединений.

В качестве примера второго подхода к синтезу тетрагидрокарбазолонов с формированием углерод-углеродной связи по положению 1-9а можно привести синтез тетрагидрокарбазолона **1** из 4-(3-индолил)бутановой кислоты **2** путем электрофильной атаки индола по положению 2 [1].



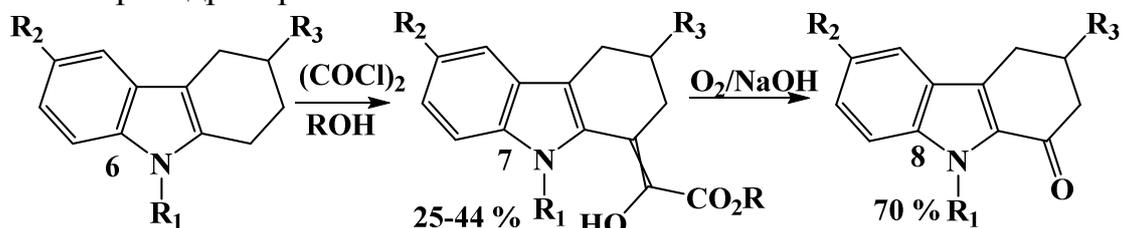
Реализация схемы синтеза с формированием связей 1-2 осуществляется в синтезе тетрагидрокарбазолона **3** окислительной фотоциклизацией 6-бром-2-(N-метиланилино)гекс-2-еннитрила **4** в 3-(3-бромпропил)-1-метил-1H-индол-2-карбонитрил **5**. После чего индолкарбонитрил **5** подвергается внутримолекулярной циклизации, путем атаки цианогруппы с последующим гидролизом и получением тетрагидрокарбазолона **3**.



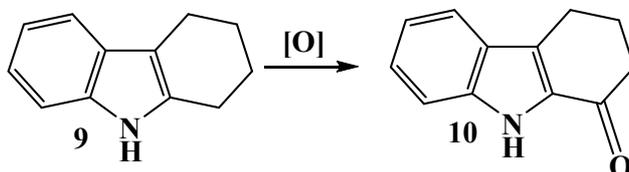
Подходом отличным от всех вышеперечисленных, является способ получения тетрагидрокарбазол-1-она из тетрагидрокарбазола путем его прямого или опосредованного окисления.

Обработка тетрагидрокарбазола **6** хлорангидридом щавелевой кислоты и последующий гидролиз тетрагидрокарбазолиденацетилхлорида водой либо спиртом приводит к 2-гидрокси-2-(2,3,4,9-

тетрагидро-1Н-карбазол-1-илиден)уксусной кислоте, либо соответствующему эфиру **7**. Далее они подвергаются окислению кислородом воздуха в щелочных условиях с образованием 1-оксотетрагидрокарбазола **8**.



Прямое окисление тетрагидрокарбазола **9** с целью получения 1-оксотетрагидрокарбазола **10** осуществляют оксигенированием положения 1 с использованием гипервалентных соединений иода, таких как оксид иода (V) или иодная кислота.



Метод синтеза тетрагидрокарбазолонов из тетрагидрокарбазола имеет ряд преимуществ. С помощью данной методики оксотетрагидрокарбазолы получают без использования малодоступных реагентов и катализаторов, содержащих драгметаллы. Исходный тетрагидрокарбазол можно синтезировать из легкодоступных циклогексанона и фенилгидразина.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Design and synthesis of calindol derivatives as potent and selective calcium sensing receptor agonists / L. Kiefer [et al.] // *Bioorganic and Medicinal Chemistry* – 2016 – Vol. 24, № 4. – P. 554–569.
2. Arnould, J.C. Reactivite photochimique des  $\alpha$ -aminoenones: reactions de cyclisation et nouveau type de reaction dans les  $\alpha$ -sulfonamidocyclohexenones / J.C. Arnould, J. Cossy, J.P. Pete // *Tetrahedron*. – 2014 – Vol. 36, № 11. – P. 1585–1592.
3. Brunk, H.-J. Darstellung und spektroskopische Eigenschaften von Tetrahydrocarbazol-1-yliden-Derivaten, insbesondere Tetrahydrocarbazol-1-yliden-dioxolanonen mit der Partialstruktur einer substituierten Ortho-carbonsaure / H.-J. Brunk, H. Fritz // *Liebigs Annalen der Chemie*. – 1985 – Heft 11. – Seite 1715–1928.

УДК 547.571:547.7/8

Студ. Т.П. Ахламёнок

Науч. рук. доц. Я.М. Катов

(кафедра органической химии, БГТУ, г. Минск)

## СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗИМИДАЗОЛА НА ОСНОВЕ О-ФЕНИЛЕНДИАМИНА И АРОМАТИЧЕСКИХ АЛЬДЕГИДОВ

Цель данной работы заключалась в синтезе производных бензимидазола на основе о-фенилендиамина и ряда ароматических альдегидов, а так же изучить реакционную способность ароматических альдегидов, содержащих один, два электронодонорные заместители или ароматический конденсированный цикл.

Производные бензимидазола по литературным данным обладают различными видами фармакологической активности: противовирусная, противоопухолевая, противомикробная, а также известны соединения, которые проявляют антиВИЧ-действие [1].

Бензимидазол относится к тем гетероциклическим соединениям, которые проявляют амфотерные свойства: реагирует с сильными основаниями и с сильными кислотами (схема 1).

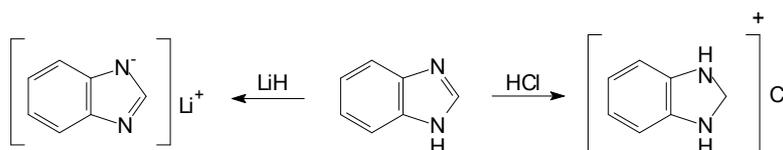


Схема 1

Исходя из литературных данных, производные бензимидазола можно получать несколькими способами:

Синтез бензимидазолов из ацилпроизводных о-фенилендиамина [2] (схема 2):

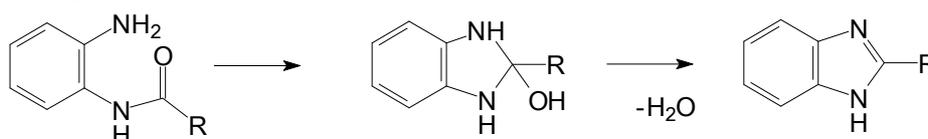


Схема 2

Синтез бензимидазолов из о-фенилендиамина и кислот или их производных [3] (схема 3):

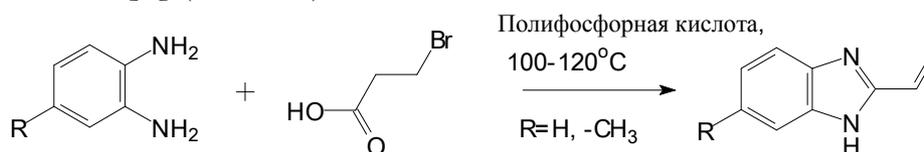


Схема 3

Синтез бензимидазолов из о-фенилендиамина и альдегидов [4] (схема 4):

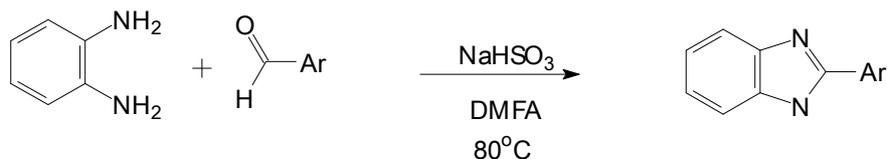


Схема 4

Производные бензимидазола были получены на основе субстратов: салициловый альдегид (схема 5), ванилин (схема 6) и 2-гидрокси-нафтойный альдегид (схема 8). В качестве катализатора использовался метабисульфит натрия, исходные вещества растворяли в диметилформамиде, температуру поддерживали 80–90°C, время реакции 8 ч.

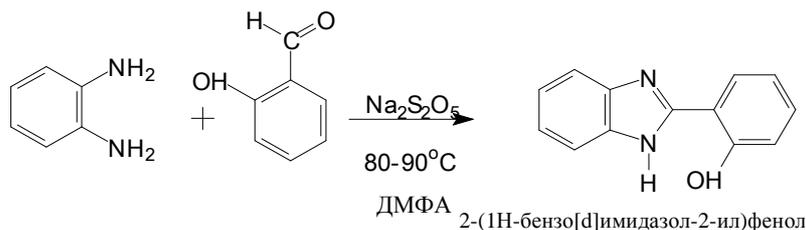


Схема 5

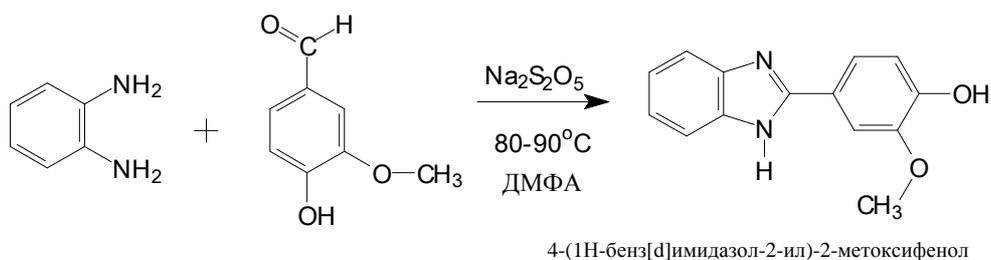


Схема 6

Для осуществления схемы 8 был получен 2-гидрокси-нафтойный альдегид реакцией формилирования β-нафтола хлороформом в присутствии гидроксида натрия в среде этанола (схема 7).

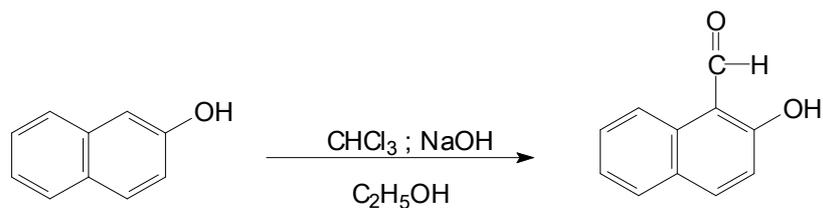


Схема 7

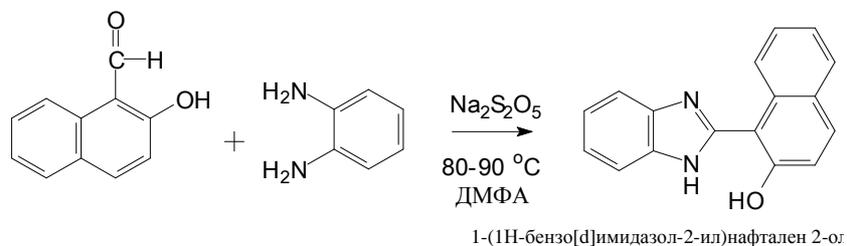


Схема 8

Выход продуктов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Выход и температура плавления продуктов

Субстраты	Название продукта	Выход, %	T <sub>пл.</sub> , °C
Салициловый альдегид (1)	4-(1Н-бензо[d]имидазол-2-ил)-2-метоксифенол (4)	70	240-242,0
Ванилин (2)	2-(1Н-бензо[d]имидазол-2-ил)фенол (5)	90	213,0-215,2
2-гидрокси-нафталальдегид (3)	1-(1Н-бензо[d]имидазол-2-ил)нафт-2-ол (6)	50	145,0-147,0

Строение соединений (4–6) было доказано спектральными характеристиками. Соединения (1) и (2), содержащие электронодонорные заместители, привели к получению продуктов реакции (4) и (5) соответственно с высокими выходами. Для соединения (3) низкий выход, возможно, обусловлен пространственными затруднениями. Важно отметить, что соединения (4–6), обладая длинной сопряженной системой, могут использоваться в качестве люминофоров в лабораторных опытах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чупахин, О. Н.; Чарушин, В. Н.; Русинов, В. Л.; Уломский, Е. Н.; Котовская, С. К.; Киселев, О. И.; Деева, Э. Г.; Саватеев, К. В.; Борисов, С. С. Патент РФ 2529487, 2014.
2. Ladenburg A. Derivate von Diaminen // Ber. 1875. V. 8. P. 677–678.
3. Rohini R., Shanker K., Reddy P.M., Ravinder V. Synthesis and Antimicrobial Activities of a New Class of 6-Arylbenzimidazo[1,2-c]quinazolines // J. Braz. Chem. Soc. 2010. V. 21. P. 49–57.
4. Han X., Ma H., Wang Y. Простой и эффективный метод синтеза 2-арилзамещенных бензимидазолов // ЖОрХ. 2008. Т. 44. Вып. 6. С. 872–874.

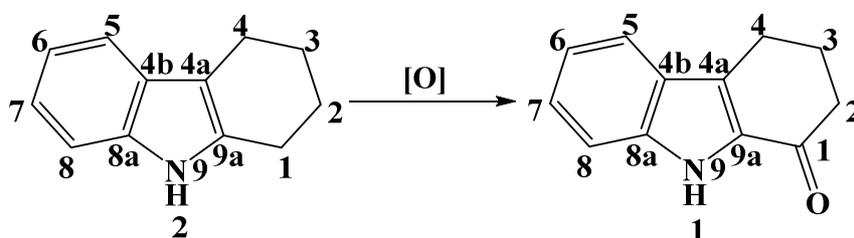
УДК 547.759.32

Магистрант А.И. Савельев;  
студ. Н.А. Прудников, А.А. Пацеев  
Науч. рук.: зав. кафедрой С.Г. Михалёнок; проф. В. С. Безбородов  
(кафедра органической химии, БГТУ)

## СИНТЕЗ ОКСИГЕНИРОВАННЫХ N-ЗАМЕЩЕННЫХ ТЕТРАГИДРОКАРБАЗОЛОВ

Биологическая активность производных карбазола [1, 2], а также наличие лекарственных средств, содержащих карбазольный фрагмент, стимулирует дальнейшее изучение данного класса соединений. В данной работе описывается синтез N-замещенных тетрагидрокарбазол-1-онов, частично гидрированных производных карбазола.

Синтез 1-оксотетрагидрокарбазола **1** в своей работе мы осуществляли путем окисления тетрагидрокарбазола **2**.



Для оксигенирования тетрагидрокарбазола по положению 1 в качестве окислителя применяют кислородсодержащие производные иода, такие как иодная кислота и оксид иода (V) [2]. Также описано окисление оксидом селена (IV) алкалоидов, содержащих в своем составе скелет конденсированного тетрагидрокарбазола [3].

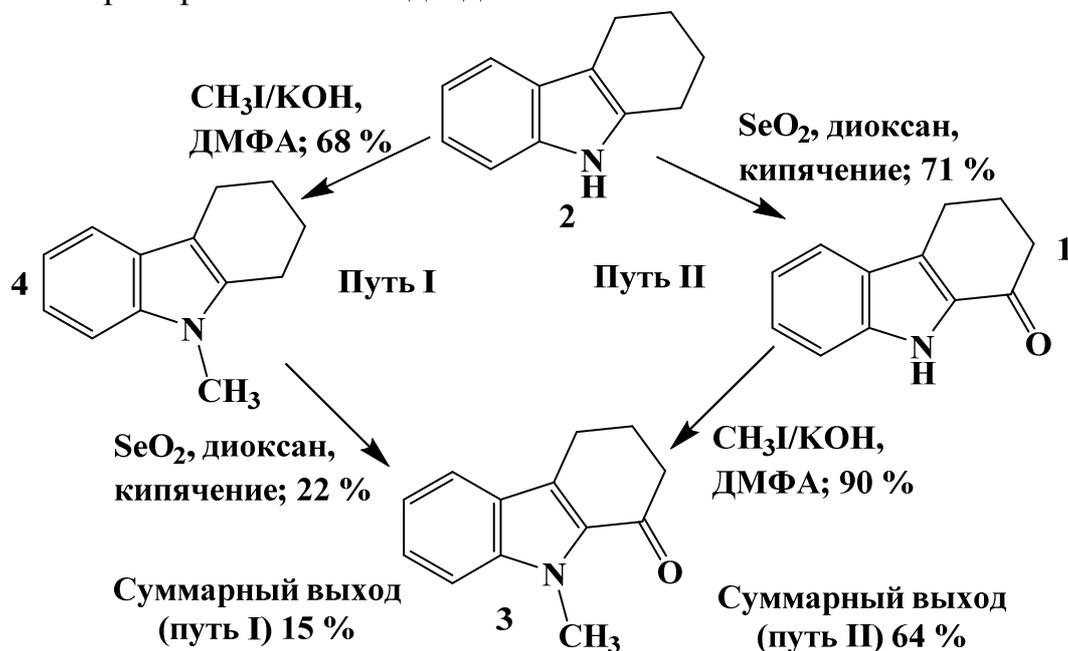
Введение заместителей в положение 9, как тетрагидрокарбазола, так и тетрагидрокарбазолонна проводят реакцией с соответствующими галогенидами в апротонных растворителях под действием оснований, таких как гидроксид калия, карбонат калия и гидрид натрия.

Тетрагидрокарбазол-1-оны, замещенные по азоту, возможно синтезировать из тетрагидрокарбазола исходя из двух подходов: ввести заместитель в положение 9, после чего оксигенировать 9-замещенный тетрагидрокарбазол по положению 1; либо предварительно окислить тетрагидрокарбазол, после чего проалкилировать тетрагидрокарбазол-1-он.

Для оксигенирования **2** по положению 1 в качестве окислителя были испробованы иодная и иодноватая кислоты, пентаоксид диоида и диоксид селена. Лучшие результаты были получены при использовании оксида селена (IV). Также использование оксида селена как окис-

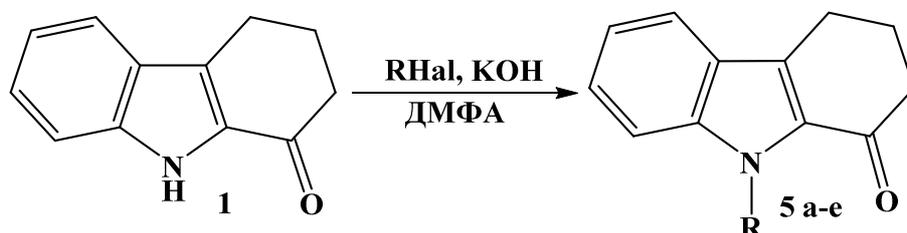
лителя для данного субстрата не описано в литературе и интересно для дальнейшего изучения.

Далее на примере синтеза 9-метилтетрагидрокарбазол-1-она **3** были опробованы оба подхода.



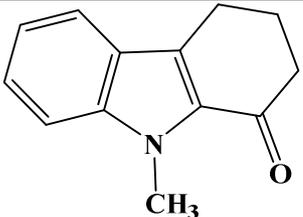
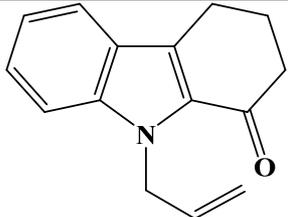
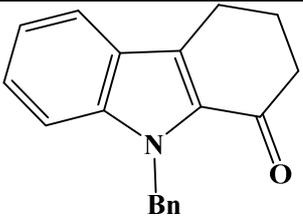
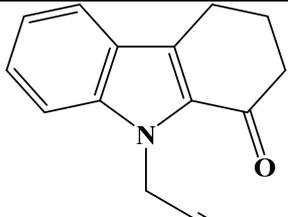
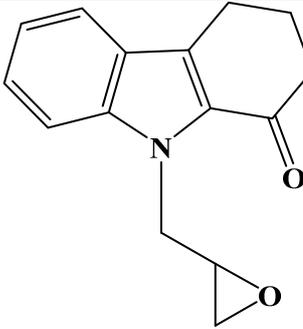
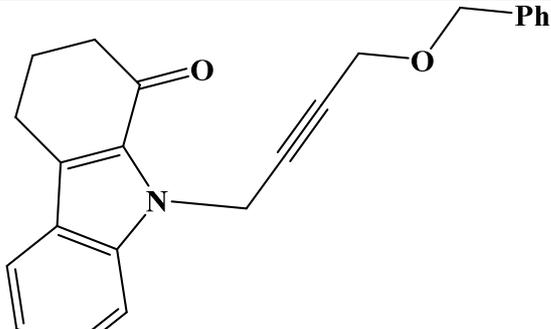
Так окисление замещенного тетрагидрокарбазола **4** проходило с выходом вдвое меньшим в сравнении с незамещенным субстратом **2**. Суммарный выход по первому пути составил 15%, во втором же случае достигал 64%, поэтому в дальнейшем для синтеза 9-замещенных тетрагидрокарбазол-1-онов нами был использован второй подход. К тому же, используя подход II, возможно получить тетрагидрокарбазолы с заместителями лабильными к окислителям.

Алкилирование проводили соответствующими галоидными алкилами под действием гидроксида калия в растворе диметилформамида.



В результате нами был получен ряд N-замещенных тетрагидрокарбазол-1-онов. В таблице приведены структуры полученных соединений их температуры плавления и входы на стадии алкилирования.

Таблица – 9-замещные тетрагидрокарбазол-1-оны 5а-е

 <p><b>5а</b>  <math>T_{пл}=71,3-72,6^{\circ}\text{C}</math>, ВЫХОД 90%</p>	 <p><b>5б</b>          Масло, ВЫХОД 77%</p>
 <p><b>5в</b>  <math>T_{пл}=109,4-111,6^{\circ}\text{C}</math>, ВЫХОД 84%</p>	 <p><b>5г</b>  <math>T_{пл}=89-90,6^{\circ}\text{C}</math>, ВЫХОД 80%</p>
 <p><b>5д</b>          Масло, ВЫХОД 53%</p>	 <p><b>5е</b>          Масло, ВЫХОД 73%</p>

Индивидуальность синтезированных соединений подтверждена методом ТСХ, а структура доказана данными ЯМР- и ИК-спектроскопии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Greger, H. Phytocarbazoles: alkaloids with great structural diversity and pronounced biological activities / H. Greger // *Phytochemistry Reviews*. – 2017. – Vol. 16, № 6. – P. 1095–1153.
2. Li, X., Conformationally restrained carbazolone-containing  $\alpha,\gamma$ -diketo acids as inhibitors of HIV integrase / X. Li, R. Vince // *Bioorganic & Medicinal Chemistry* – 2006 – Vol. 14, № 9. – P. 2942–2955.
3. Total synthesis of uleine-type and strychnos alkaloids through a common intermediate / J. Gracia [et al.] // *Journal of Organic Chemistry*. – 1994. – Vol. 59, № 14. – P. 3939–3951.

УДК 667.633.26.019

Студ. Д.Н. Черепко

Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

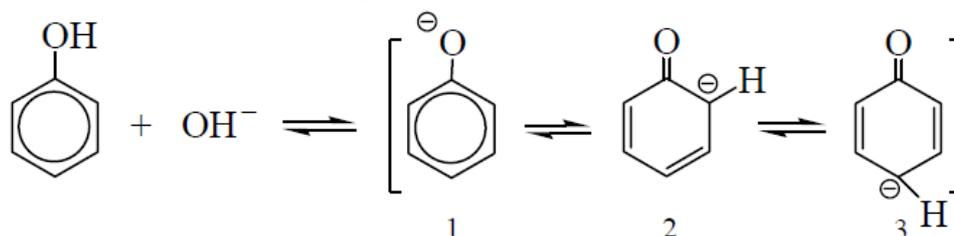
**СИНТЕЗ И ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ РЕЗОЛА**

Фенолоальдегидные полимеры образуются при взаимодействии фенола и его гомологов с альдегидами, главным образом формальдегидом в щелочной среде.

В зависимости от характера исходных мономеров, а также структуры и свойств образующихся продуктов, все фенолоформальдегидные олигомеры, выпускаемые промышленностью, можно разделить на следующие группы:

- немодифицированные;
- модифицированные;
- водорастворимые и водоразбавляемые.

Основной катализ получения резола сводится к повышению активности фенола в реакции с формальдегидом. Эффективность основного катализа обусловлена, в первую очередь, способностью фенола реагировать с формальдегидом в форме С-Н кислоты.



Локализация отрицательного заряда в орто- и пароположениях соответствующих анионов псевдокислоты (2 и 3) обеспечивает их высокую реакционную способность с формальдегидом в щелочной среде.

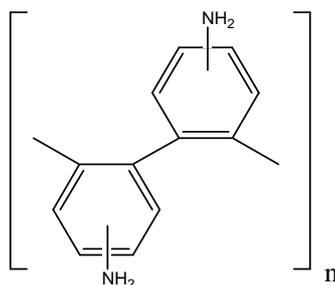
В результате этих реакций, которые протекают при взаимодействии фенола с формальдегидом в присутствии щелочи, и других аналогичных превращений могут образоваться моно-, ди- и триметилольные производные фенола

Целью данной работы было получение фенолоформальдегидных смол резольного типа и их модифицирование реакционноспособным олигомером.

Синтез фенолоформальдегидных олигомеров проводили в избытке формальдегида при мольном соотношении формальдегид: фенол = 1,2 – 2,5 следующим образом: в круглодонную колбу на 150 мл помещали 30 г кристаллического фенола и 50 мл формалина. Смесь перемешивали до

полного растворения, после чего добавляли 3 мл 25%-го раствора аммиака.

Колбу, снабженную ловушкой Дина-Старка и обратным холодильником, помещали в водяную баню и нагревали смесь при 70°C в течении 15-20 минут. Выделяющаяся в процессе синтеза вода, конденсируясь в холодильнике, собиралась в ловушке Дина-Старка. После прекращения выделения воды в ходе процесса синтеза, реакционную смесь из колбы помещали в фарфоровую чашку. Половину полученной смолы модифицировали реакционноспособным полифункциональным олигомером олигоаминофениленом, формула 1, где  $n = 3-4$



**Формула 1**

Его синтезировали следующим образом: в колбу снабженную мешалкой, термометром, обратным холодильником, загружали перекристаллизованный парафенилендиамин и катализатор (7 масс. % паратолуолсульфокислоты). Реакционную смесь нагревали при 250°C в течение 8-10 часов в токе очищенного и осушенного азота. Полученный продукт очищали от мономера экстракцией изопропанолом в аппарате Сокслетта.

Получали олигомерный продукт с выходом 55-60%. Готовили 10%-ный раствор олигоаминофенилена в диметилформамиде, который использовали для приготовления модифицированных композиций синтезированной фенолоформальдегидной смолы.

Пленкообразующие композиции получали путем введения расчетных количеств модификатора в виде 10%-ного раствора в диметилформамиде в фенолоформальдегидную смолу при тщательном перемешивании композиции до её полной гомогенизации. Экспериментально установлено, что фенолформальдегидная смола и раствор олигоаминофенилена в диметилформамиде хорошо совмещаются.

Растворы не расслаиваются при длительном хранении и из них хорошо формируется пленки на стеклянных пластинах и на металлических субстратах из низкосортной стали.

Из полученных немодифицированных фенолоформальдегидных олигомеров и модифицированных (0,5 % олигоаминофенилена в составе композиции) смол готовили образцы покрытий путем нанесения слоя

модифицированной и немодифицированной смолы методом полива непосредственно на предварительно очищенную металлическую подложку из низкосортной стали. Металлические пластины с лаковым покрытием с двух сторон и с защищенными краями после удаления растворителя прогревали в термошкафу при температуре 100 °С в течение 40 минут. Образцы выдерживали при нормальных условиях в течение суток. Затем помещали в воду и следили за изменениями их внешнего вида в течение определённого времени до появления дефектности и подпленочной коррозии. Было установлено, что скорость отверждения немодифицированных образцов значительно ниже, чем у образцов фенолоформальдегидной смолы, модифицированной 0,5 масс. % олигоаминофенилена.

Установлено, что подпленочная коррозия металла с нанесенной на его поверхность немодифицированной фенолоформальдегидной смолой начинается через 30 суток при экспонировании образцов в водопроводной воде при комнатной температуре. Установлено, что введение в состав фенолоформальдегидной смолы 0,5 % масс. олигоаминофенилена при формировании покрытий на стальных поверхностях в сравнимых условиях с немодифицированной смолой повышает защитное действие покрытий в водной среде в 1.3 раза.

Это можно объяснить, по-видимому, тем что модифицирующий реагент – олигоаминофенилен, содержащий реакционноспособные аминогруппы, хорошо совмещающиеся с фенолоформальдегидным олигомером, может реагировать с избытком формальдегида в системе аналогично карбамиду или меламину, с образованием соответствующих метилольных групп, способных взаимодействовать с аналогичными группами фенолоформальдегидной смолы, увеличивая длину цепи олигомера и дополнительно участвуя в образовании сетчатой структуры в системе олигомеров.

В совокупности, эти процессы обуславливают снижение пористости защитного покрытия и придания ему антикоррозионных свойств, замедляя процесс образования подпленочной коррозии на стальных субстратах.

## 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. Технология пластических масс Под ред. В. В. Коршака. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1985 – 560 с.

УДК 667.663.26.019

Студ. Е.С. Запольская; стажер, мл. науч. сотр. К.С. Кокаш

Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

## СИНТЕЗ И ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Синтез карбамидоформальдегидных олигомеров осуществляется в несколько стадий реакцией поликонденсации карбамида с формальдегидом. В результате их взаимодействия в зависимости от условий реакции получают индивидуальные вещества, растворимые олигомерные продукты и неплавкие нерастворимые аморфные полимеры.

При проведении реакции в нейтральной или щелочной среде ( $\text{pH} \geq 7$ ) первоначальными продуктами взаимодействия карбамида с формальдегидом являются метилольные производные [1] (рисунок 1):

Константы равновесия этих реакций, определенные с помощью ЯМР  $^{13}\text{C}$ , следующие:

$$K_1=1 \cdot 10^3; K_2=2,5 \cdot 10^2; K_3=0,2 \cdot 10^2; K_4=0,2 \cdot 10^2; K_5=2 \cdot 10^2; K_6 \ll K_4.$$

Константы равновесия свидетельствуют о том, что только образование моно- и дигидроксиметилкарбамида является практически необратимым процессом. Тригидроксиметилкарбамид получается в относительно небольших количествах, а тетрагидроксиметилкарбамид в продуктах реакции практически отсутствует.

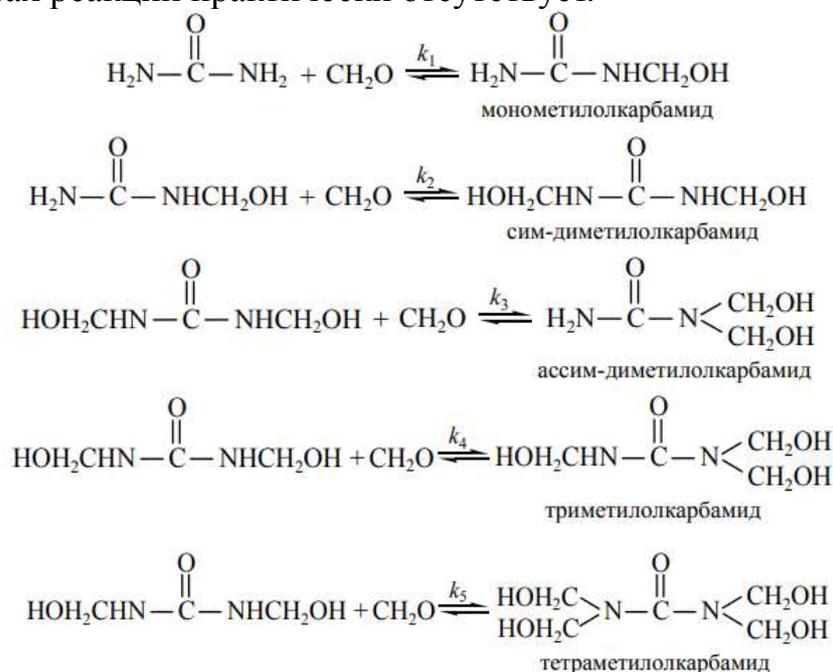


Рисунок 1 – Схема ступенчатой конденсации карбамида с формальдегидом

Гидроксиметильные производные карбамида при  $\text{pH} \geq 7$  относительно устойчивы вплоть до температуры около  $60^\circ\text{C}$ . В кислой среде ( $\text{pH}=1-4$ ) они превращаются в метиленкарбамиды. При нагревании этот процесс ускоряется [2] (рисунок 2):

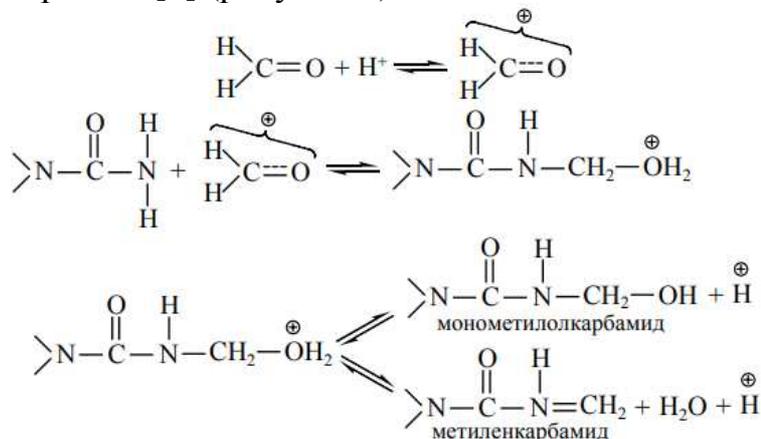


Рисунок 2 – Схема реакции конденсации карбамида с формальдегидом к кислой среде

Метиленкарбамиды являются крайне неустойчивыми соединениями и превращаются в неплавкие нерастворимые аморфные полимеры, которые не нашли практического применения [3].

Целью данной работы являлось получение карбамидоформальдегидной смолы и её модифицирование аминосодержащим модификатором. Синтез карбамидоформальдегидной смолы проводили следующим образом: 30 г карбамида и 40 г 37%-го формалина взвешивали в отдельных стаканах. Формалин переносили в колбу, добавляли 2,5 мл аммиака. Колбу закрепляли на штативе и присоединяли к ней мешалку с затвором, обратный холодильник и термометр. При работающей мешалке порциями вносили в колбу половину взвешенного карбамида. Смесь нагревали до  $85^\circ\text{C}$  в течение 60 минут. Затем добавляли оставшийся карбамид и нагревали еще 60 минут. Содержимое колбы перенесли в фарфоровую чашку и при нагревании удаляли остаток воды.

Модифицированные пленкообразующие композиции получали путем введения расчетных количеств аминосодержащего модификатора в карбамидоформальдегидную смолу при тщательном перемешивании композиции до её полной гомогенизации. Предполагается, что полиаминный модификатор (олигоаминофенилен), содержащий реакционно-способные аминогруппы, будет взаимодействовать с формальдегидом с образованием метилольных групп, которые могут далее вступать во взаимодействие с аналогичными группами карбамидоформальдегидных олигомеров, приводя к более эффективной сшивке в системе олигомеров,

что будет способствовать снижению водопоглощения и улучшению свойств изделий. Экспериментально установлено, что карбамидоформальдегидная смола и аминоксодержащий модификатор хорошо совмещаются. Готовили образцы покрытий путем нанесения слоя модифицированной и немодифицированной карбамидоформальдегидной смолы методом полива непосредственно на предварительно очищенную металлическую подложку из низкосортной стали.

При исследовании защитных коррозионных свойств металлических пластин с покрытиями, их удерживали в водной среде при комнатной температуре в течение суток. Было установлено, что по истечении указанного времени защитные покрытия с модификатором и без него разрушились. Однако разрушение покрытия без модификатора происходило на 10 часов раньше, по сравнению с покрытием с модификатором. Это можно объяснить тем, что достигалась плохая адгезия покрытий на пластинах из низкосортной стали.

Модифицированные карбамидоформальдегидные смолы предполагается использовать в качестве связующего для получения древесностружечных и древесноволокнистых плит. В этих применениях более высокая водостойкость композиций имеет существенное значение для возможности эксплуатации получаемых ДВП и ДСП более продолжительное время при повышенной влажности среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прокопчук, Н. Р. Химическая технология полимеров и композитов : учеб. пособие для студентов химико-технологических специальностей / Н. Р. Прокопчук, Э. Т. Крутько. – Минск : БГТУ, 2013. – 507 с.
2. Коршак, В. В. Технология пластических масс. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1985 – 560 с, ил.
3. Прокопчук, Н. Р. Химия и технология пленкообразующих веществ: учебное пособие для студентов вузов / Н. Р. Прокопчук, Э. Т. Крутько. – Минск : БГТУ, 2004. – 423 с.: ил.

УДК 678.55.075.8

Студ. О.С. Мастицкая

Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько

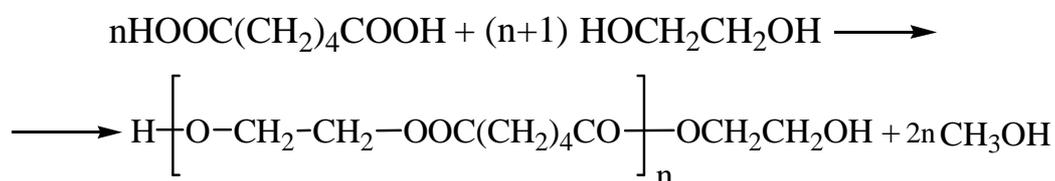
(кафедра полимерных композиционных материалов)

## СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ НЕМОДИФИЦИРОВАННЫХ ОЛИГОЭФИРОВ

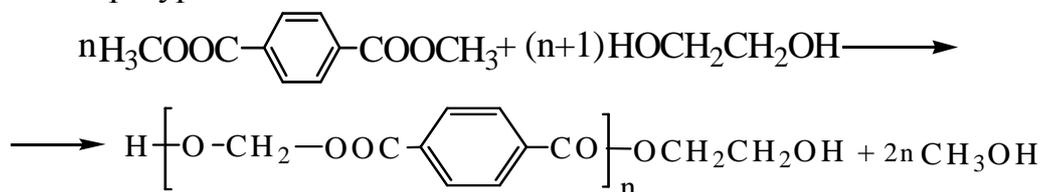
Немодифицированные насыщенные полиэфиры получают взаимодействием двух или многоатомных спиртов с двух - или многоосновными кислотами (или их ангидридами). Насыщенные полиэфиры можно также получать поликонденсацией оксикислот и полимеризацией лактонов. Но в производстве пленкообразователей эти синтезы пока не используются [1].

В качестве спиртовых компонентов применяют чаще всего этиленгликоль, ди - и триэтиленгликоль, пропиленгликоль, а также глицерин, в качестве кислотных – янтарную, адипиновую, себациновую кислоты и фталевый ангидрид.

Синтез полиэфиrow основывается на реакции полиэтерификации, относящейся к реакциям нуклеофильного замещения. Взаимодействие двух - или многоатомных спиртов с ди - или полиосновными кислотами проводят в присутствии катализаторов при температуре выше 180°C. Завершающую стадию процесса проводят при 280°C и предпочтительно в вакууме. Например:



Вместо двух - и многоосновных кислот могут быть использованы их эфиры. В частности, полиэтиленгликольтерефталат можно получить взаимодействием диметилового эфира терефталевой кислоты с этиленгликолем в присутствии окиси свинца, алкоголятов натрия или магния при температуре >195°C:



В обоих случаях этиленгликоль вводят с небольшим избытком, регулируя тем самым молекулярную массу полиэфира.

В основе составления композиций полиэфирных лакокрасочных материалов лежит необходимость обеспечения эластичности при высокой реакционной способности и большой густоте межмолекулярных связей, образующих при отверждении пространственный полимер. Для этого в состав полиэфирной цепи вводят определенные количества как ароматических, так и алифатических диолов или дикарбоновых кислот.

Полиэфиры характеризуются бесцветностью и повышенной светостойкостью, однако в немодифицированном виде они недостаточно водо- и особенно щелочестойки. В связи с этим как самостоятельные пленкообразователи они применяются ограниченно – лишь в порошковых красках. В этом случае олигомерные молекулы содержат достаточное число (помимо концевых) гидроксильных групп в результате частичной замены двухатомного спирта на глицерин. Такие полиэфиры отверждаются при 180-200°C многоосновными кислотами, например пиромеллитовым ангидридом.

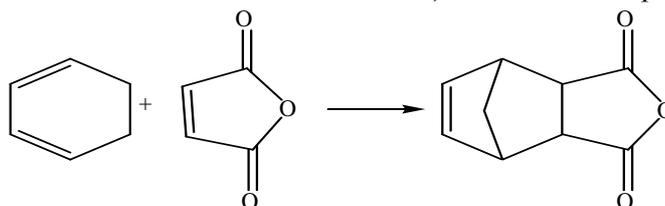
Широкое применение насыщенные олигоэфиры находят в полиуретановых композициях [2].

Гидроксильная функциональность, молекулярная масса и разветвленность сложных олигоэфиров являются важными параметрами, определяющими степень сшивки, структуру и свойства полиуретанов. Для получения полиуретанов используют слаборазветвленные олигомеры с молекулярной массой 500-1500 и содержанием гидроксильных групп 2,3-4,6% (гидроксильное число 150-400 мг КОН/г).

В данной работе был проведен синтез полиэфира из фталевого ангидрида (ФА) и пентаэритрита.

Синтез олигоэфира осуществляли следующим образом: смесь пентаэритрита и фталевого ангидрида помещали в фарфоровый стакан и нагревали, постепенно повышая температуру до 180 °С перемешивая стеклянной палочкой. Смесь постепенно превращается в однородную массу, а затем переходит в сироп, который не кристаллизуется. Через 2 часа после начала нагревания через каждые 15-20 мин отбирали пробу из расплава и проверяли его на растворимость в ацетоне. Как только расплав начинал отверждаться при охлаждении, нагревание прекращали, полимер в горячем состоянии выливали на лист жести и охлаждали: получался твердый бесцветный продукт, который растворяется в ацетоне, спирто-бензольной смеси и других органических растворителях.

С целью увеличения твердости получаемого полиэфира, фталевый ангидрид заменяли на ангидрид бициклооктендикарбоновой кислоты (АБОК), который получали по реакции Дильса-Альдера путем конденсации циклогексадиена-1,3 с малеиновым ангидридом по схеме:



Реакция проводилась следующим образом: в реактор, снабженный мешалкой, обратным холодильником, капельной воронкой вводили расчетное количество малеинового ангидрида, растворенного в 300 мл свежеперегнанного бензола. Затем медленно по каплям прибавляли из капельной воронки циклогексадиен. Температуру реакционной среды поддерживали при  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ . После окончания синтеза раствор охлаждали, образовавшиеся кристаллы АБОК отфильтровывали, а затем перекристаллизовывали из смеси бензол : петролейный эфир (1:1).

Синтез олигоэфира с использованием АБОК в тех же условиях, что и синтез с ФА. Из синтезированных смол получали покрытия на подложках из низкосортной стали. Измерение твердости покрытий синтезированных немодифицированных полиэфиров показало, что замена фталевого ангидрида на ангидрид бициклооктендикарбоновой кислоты приводит к увеличению твердости покрытий в случае АБОК в 1,5 раза.

#### 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. Технология пластических масс Под ред. В. В. Коршака. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1985 – 560 с, ил.

УДК 667.633.26.019

Студ. А.С. Соболев, Е.А. Черник

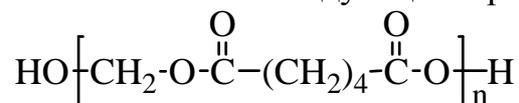
Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

### СИНТЕЗ И ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ СЛОЖНЫХ НАСЫЩЕННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИЭФИРОВ

В цепях молекул насыщенных поли- или олигоэфиров нет кратных двойных связей. Насыщенные полиэферы получают поликонденсацией насыщенных двухосновных кислот (или их ангидридов) с двух- или трехатомными спиртами.

Насыщенный олигоэфир на основе двухатомного спирта этиленгликоля и адипиновой кислоты имеет следующее строение:



**полиэтиленгликольадипинат**

В результате конденсации образуются линейные (растворимые) и разветвленные термореактивные олигомеры, которые впоследствии медленно отверждаются за счет взаимодействия оставшихся реакционно-способных гидроксильных -ОН и карбоксильных групп –СООН, образуя сетчатые нерастворимые и неплавкие покрытия. По внешнему виду – это высоковязкие липкие полупрозрачные вещества. Цвет глифталей от светло-желтого до желто-коричневого.

Глифталы - реактопласты и при комнатной температуре медленно отверждаются. В отсутствие растительных масел при отверждении наблюдается значительная усадка материала и после "высыхания" образуются хрупкие покрытия. Для снижения усадки, ускорения отверждения и повышения эластичности покрытий глифталы модифицируют различными соединениями, в том числе растительными маслами [1].

Насыщенные олигоэфиры, полученные в присутствии растительных масел, называются алкидными смолами.

По одному из промышленных способов алкидные глифталевые смолы синтезируют конденсацией глицерина с фталевым ангидридом в присутствии жирных кислот растительных масел в расплаве при температуре 220-240<sup>0</sup>С. В зависимости от количества добавленного модификатора различают следующие виды модифицированных маслом глифталей:

- *Сверхтощие ГФ*. В них содержание масла менее 34%.
- *Тощие глифталы* с содержанием масла от 34% до 45%.
- *Средние ГФ*, в которых растительного масла от 46% до 55%.
- *Жирные глифталы* содержат от 56% до 70%.
- *И очень жирные глифталы*, в которых масла может быть более 70%.

Температура эксплуатации отвержденных покрытий на основе модифицированных растительным маслом глифталей от минус 20<sup>0</sup>С до 100-150<sup>0</sup>С.

Глифталевые смолы (олигомеры) преимущественно используют: как основной компонент (основу) лакокрасочных материалов (лаки, эмали, краски, грунтовки), как основу клеев, как связующее в производстве

стеклопластиков, для пропитки текстурных и кроющих бумаг в производстве бумажных смоляных пленок для облицовки мебели.

Помимо масел для ускоренного отверждения в алкидные глифталы добавляют ускорители – сиккативы (нафтенаты или резинаты кобальта и марганца). Алкидные пентафталевые смолы получают так же как глифталевые, только вместо глицерина используют четырехатомный спирт – пентаэритрит. В результате конденсации сначала образуются переэтерификаты масла и пентаэритрита, к которым после завершения процесса добавляют фталевый ангидрид. При формировании покрытий отверждение происходит за счёт окислительной полимеризации ненасыщенных жирных кислот масел-модификаторов и дальнейшей поликонденсации разветвлённых олигоэфиров. Реакционная способность пентаэритрита выше, чем у глицерина, поэтому отверждение пентафталеов происходит быстрее и легче.

Следует отметить, что при модификации сложных насыщенных олигоэфиров высыхающими и полувсыхающими маслами увеличивается скорость отверждения формируемых покрытий на субстратах различной природы. При этом полученные покрытия на основе алкидных пентафталеов имеют большую механическую прочность, срок службы и температурные границы эксплуатации, чем на основе глифталеов.

Материалы на основе глифталеов алкидных смол маркируют буквами ГФ, на основе пентафталеов смол – буквами ПФ [2].

В данной работе синтезированы модифицированные подсолнечным и льняным маслами «средние» алкидные глифталеовые полиэфиры, и исследовано влияние скорости добавления фталевового ангидрида в переэтерифицируемую смесь на свойства конечного получаемого продукта (ГФ).

В реактор помещали подсолнечное масло, соду, включали механическую мешалку и перемешивали содержимое реактора в течение 5 минут. Затем вводили глицерин и содержимое реактора постепенно нагревали до 250<sup>0</sup>С в инертной среде (ток азота). При этой температуре проводился процесс переэтерификации масла до получения продукта, растворимого в этиловом спирте – ректификате в соотношении 1:3. Пробы отбирали через каждые 15-20 минут. Затем реакционную массу охлаждали до 180-190<sup>0</sup>С и в нее постепенно в течение трех часов вводили фталевый ангидрид. Полученную смесь нагревали до 230<sup>0</sup>С и проводили процесс полиэтерификации до получения полиэфира с кислотным числом 32 (пробы отбирали через каждые 15-20 минут). Получили прозрачный вязкий раствор, хорошо растворимый в ацетоне, ксилоле, толуоле.

Из растворов в ксилоле формировали покрытия на субстратах из низкокоррозионной стали, на стеклянных подложках и на алюминиевой фольге.

Для сравнения в процессе синтеза аналогичного алкидного глифталевого олигомера основные технологические параметры процесса не изменялись (температура, скорость вращения мешалки, ток инертного газа, катализатор), кроме скорости введения фталевого ангидрида в реакционную систему. В этом эксперименте фталевый ангидрид вводили в течение 30 минут (практически сразу). При добавлении последней порции мономера в реакторе образовался гель. В данном эксперименте получили алкидный глифталевый олигомер с кислотным числом 150, который не растворился ни в одном из органических растворителей (ксилол, толуол, ацетон и др.), за исключением диметилформамида. В нем полученный продукт растворялся только при нагревании.

Аналогичные результаты были получены при исследованиях с использованием льняного масла.

Таким образом, в технологическом процессе получения алкидных смол необходимо строго соблюдать технологический регламент, в том числе и скорость подачи фталевого ангидрида в переэтерификат.

#### 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. Технология пластических масс / Под ред. В. В. Коршака. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 560 с.

УДК 543.3

Студ. А.В. Карпицкая, И.А. Коваль

Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

## **МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ СОЛЕЙ ХЛОРИСТОГО КАЛИЯ И ХЛОРИСТОГО НАТРИЯ В ПРЕСНЫХ ВОДАХ СВЕТЛОГОРСКОГО РАЙОНА**

Ионы натрия и калия входят в число основных компонентов растворённого минерального вещества поверхностных вод суши. Источниками поступления этих металлов в водные объекты являются изверженные породы и продукты процессов их химического разложения - осадочные породы и растворимые соли (хлориды, сульфаты, карбонаты), а также бытовые и промышленные сточные воды и смывы с сельхозугодий.

Качество природных вод определяется, как известно, их химическим составом, формирование которого в настоящее время обусловлено как природными, так и техногенными факторами.

В поверхностных водах суши концентрация натрия и калия колеблется в диапазоне 1 - 1000 мг/л и 0,6 - 300 мг/л соответственно в зависимости от физико-географических условий и геологических особенностей расположения водного объекта и интенсивности антропогенного воздействия на него. Обычно содержание калия существенно ниже, чем натрия и не превышает 20 мг/л. Содержание натрия и калия в воде нормируется в зависимости от характера использования водного объекта. ПДК натрия для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения составляет 200 мг/л, рыбохозяйственного - 120 мг/л. ПДК калия для питьевой воды составляет 12 мг/л.

Поверхностные воды страны испытывают химическую нагрузку не только от сбрасываемых сточных вод, но и вследствие смыва загрязняющих веществ с сельскохозяйственных и урбанизированных территорий, а также от автотранспорта, складов хранения отходов и загрязнения выпадающих осадков.

В промышленно-городских агломерациях загрязнение подземных вод происходит, прежде всего, на промплощадках, в местах хранения промышленных отходов, в районах очистных сооружений, свалок и утечек из очистных сооружений, свалок и утечек из промышленных и бытовых канализаций.

Натрий (катион натрия) поступает в организм человека в составе поваренной соли при употреблении пищи и жидкости. Он выполняет важнейшие функции поддержания водно-солевого баланса организма, влияющего на осмотическое давление; воздействует на процесс снабже-

ния тканей кислородом и транспортировку глюкозы и аминокислот через клеточные мембраны; способствует усвоению питательных веществ и нормальной работе нервных окончаний. Таким образом, обойтись без этого элемента невозможно, тем не менее суточная норма поваренной соли для человека ограничивается 12 г. Переизбыток натрия в организме вызывает задержку жидкости, как следствие - отеки и нарушение водно-солевого баланса, которое, в свою очередь, дает рост артериального, внутричерепного и внутриглазного давления.

Калий является основным регулятором многих процессов в нашем организме. Он нормализует выделительную функцию почек, поддерживает в норме кровяное давление, регулирует кислотно-щелочной баланс крови и водно-солевой баланс внутри и вне клеток, участвует в синтезе белка, некоторых ферментов, углеводном и белковом обмене. Недостаток этого микроэлемента в организме приводит к нервному истощению и депрессии, мышечной слабости, ухудшению работы почек и сердца, снижению иммунитета, сухости кожи и ломкости волос, учащению дыхания, репродуктивным нарушениям. Токсической дозой для человека считаются 6 г калия, а летальной – 14 г. Симптомами избытка калия могут служить раздражительность, возбудимость, потливость, аритмия, колики, нарушение мочеиспускания, повышение уровня сахара в крови.

Из этого следует, что натрий и калий являются важными микроэлементами, необходимыми для организма человека. Поэтому актуальным является определение содержания ионов натрия и калия в природных и питьевых водах, а также сравнение его с требованиями предельно допустимых концентраций. Объектом исследования в данной работе являются природные и питьевые воды Светлогорского района. В работе проводится исследование содержания ионов калия и натрия в различных пробах, а затем - анализ полученных результатов и сравнение их с требованиями предельно допустимых концентраций.

Для проведения анализа был выбран метод эмиссионной фотометрии пламени. Этот метод основан на измерении интенсивности монохроматического резонансного излучения атомов, возбужденных в пламени. В пламени при достаточно высоких температурах соединения диссоциируют на атомы, а валентные электроны атомов переходят с основного энергетического уровня на возбужденные. Затем валентные электроны самопроизвольно, спонтанно возвращаются на основной энергетический уровень. При этом в соответствии с законом Планка атомы излучают свет строго определенной частоты, которая и называется резонансной. Резонансные частоты придают спектру пламени данного элемента линейчатый вид, т.е. спектр элемента состоит из отдельных, строго определенных

узких линий. Иными словами, излучения атомов любого элемента очень характерны и присутствие других элементов в пробе и их атомов в пламени не влияет на положение резонансной линии данного элемента в спектре. Поэтому по интенсивности резонансной линии при определенных условиях можно определять содержание элемента в пробе.

Одним из преимуществ метода эмиссионной 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. Для определения концентраций натрия и калия был использован метод серии добавок. Это позволило исключить влияние других ионов, находящихся в воде, на результаты анализа. Для анализа были взяты следующие пробы природных и питьевых вод: водопроводная вода, вода из колодца, вода из реки Березина.

**Таблица – Содержание ионов натрия и калия в пробах воды**

Образец	Содержание ионов натрия, мг/л	Содержание ионов калия, мг/л
Водопроводная вода	10,53	3,57
Вода из колодца	17,09	3,56
Вода из реки	33,65	6,80

Результаты анализа показали, что в пробе из реки содержание натрия и калия имеет наибольшие значения, но во всех образцах оно соответствует установленным ПДК.

Результаты наблюдений за состоянием рек и водоемов свидетельствуют о том, что качество поверхностных вод в последние годы остается стабильным. В значительной степени это является следствием проводимой работы по сокращению сброса в водные объекты загрязненных сточных вод, объем которых по сравнению с 1995 г. сократился почти в 3 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полуэктов Н.С. Методы анализа по фотометрии пламени. - Москва: Госхимиздат, 1959. – 232 стр.
2. Физико-химические методы анализа. Лабораторный практикум / Е.В. Радион [и др]; под ред. Е.В. Радион.– Минск: БГТУ, 2010. – 110 стр.
3. Кузяков Ю.Я. Методы спектрального анализа : [Учеб. пособие для хим. спец. ун-тов] / Ю. Я. Кузяков, К. А. Семенов, Н. Б. Зоров. - Москва : Изд-во МГУ, 1990. – 212 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СОЛЕЙ ТЯЖЁЛЫХ  
МЕТАЛЛОВ В СТОЧНЫХ И ОЧИЩЕННЫХ ВОДАХ  
ПРОИЗВОДСТВА МИНСКОГО ТРАКТОРНОГО ЗАВОДА**

В последние годы особое значение приобрело загрязнение биосферы группой поллютантов, получивших общее название «тяжёлые металлы», оно является одним из сильнейших по действию и наиболее распространённым химическим загрязнением. Тяжёлыми считаются те металлы, у которых атомная масса превышает значение 50 атомных единиц. К ним относится более 40 химических элементов периодической системы Д.И. Менделеева. Тяжёлыми металлами являются хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, галлий, германий, молибден, кадмий, олово, сурьма, теллур, вольфрам, ртуть, таллий, свинец, висмут. Но многие из таких веществ при их избыточном количестве в организме оказываются ядами, которые опасны для здоровья. Поступление тяжелых металлов в биосферу осуществляется разнообразными путями. Важнейшим из них является выброс при высокотемпературных процессах в черной и цветной металлургии, при обжиге цементного сырья, сжигании минерального топлива, отходы гальванических производств.

В данном исследовании проводился анализ сточных вод на содержание цинка и кадмия, так как именно эти тяжёлые металлы выделяются на гальванических производствах. Сейчас рассмотрим подробно, почему данные металлы могут быть опасны.

Кадмий, попадая в организм человека, наносит серьёзный урон почкам. Данные шведских учёных о том, что разница между содержанием этого вещества в организме современных подростков и критической величиной, когда придется считаться с нарушениями функции почек, болезнями легких и костей, оказывается очень малой. Необходимо отметить еще и то, что это вещество повышает кровяное давление. Кадмий и все его соединения ядовиты. Особенно опасным случаем является вдыхание паров его оксида (CdO). Вдыхание в течение 1 мин. воздуха с содержанием 2,5 г/м<sup>3</sup> оксида кадмия, или 30 сек. при концентрации 5 г/м<sup>3</sup> является смертельным. Так же кадмий является канцерогеном. Вред цинка на организм человека может быть незаметным, но в результате приводит к хроническому отравлению, например, возможно длительное отравление парами цинка при сварке с развитием так называемой «литейной лихорадки». Вообще, отравление цинком при сварке – один из самых частых случаев интоксикации

этим элементом. Определение содержания солей тяжёлых металлов, а именно цинка и кадмия в сточных водах при утилизации отходов электролитов гальванического производства, проводилось с помощью метода инверсионной вольтамперометрии. Вольтамперометрия один из методов анализа, который динамично развивающихся в настоящее время. По приводимым в зарубежных журналах обзорам он находится на третьем месте по частоте применения среди инструментальных методов анализа тяжёлых металлов.

Сущность метода инверсионной полярографии состоит в выделении определяемого элемента из очень разбавленного раствора на ртутной капле, тонкой плёнке ртути на графитовом электроде или просто на графитовом электроде электролизом с последующим анодным растворением полученного продукта. Процесс накопления происходит при потенциале, соответствующем предельному току. Зависимость силы тока от напряжения при анодном растворении имеет вид характерного пика, высота которого пропорциональна концентрации определяемого иона, а потенциал максимума определяется природой иона. Чем больше продолжительность накопительного электролиза, тем большее количество металла перейдет из раствора на электрод и тем больше возрастает чувствительность определения. Вольтамперометрию отличают следующие достоинства по сравнению с другими методами: 1) возможность определения значительного числа (более 40) химических элементов и многих органических веществ; 2) низкие пределы обнаружения, достигающие для некоторых элементов (например, Cd, Bi, Tl, Pb, Sb) и органических веществ  $10^{-9}$ – $10^{-10}$  моль/л; 3) достаточно высокая селективность и хорошие метрологические характеристики; 4) лёгкость компьютеризации и автоматизации аналитических определений; 5) сравнительно невысокая стоимость приборов для инверсионной вольтамперометрии и относительная простота работы на них. Определение содержания солей щелочных металлов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) в водах утилизации отходов электролитов гальванического производства, проводилось с помощью эмиссионной фотометрии пламени.

Пламенная фотометрия – один из методов атомно-эмиссионного спектрального анализа. 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 прибора – монохроматора или светофильтра, а интенсивность ее свечения измеряется фотоэлементом. Пламя выгодно отличается от электрических источни-

ков света тем, что поступающие из баллона газ-топливо и газ-окислитель дают очень стабильное, равномерно горящее пламя. 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, а также щелочно-земельные и другие элементы. Всего этим методом определяют более 70 элементов. Преимущества метода заключаются в экспрессности, высокой селективности, высокой точности (2–4%) и чувствительности ( $10^{-6}$ – $10^{-7}$ %). Для проведения анализа были взяты пробы в цехах, где происходит загрязнение тяжелыми металлами сточных вод гальванического производства. В таблице представлены результаты измерений.

Таблица – Содержание металлов в пробах

$Cd^{2+}$	$K^+$	$Na^+$	$Zn^{2+}$
2,0734 мг/л	78,9306 мг/л	78,9306 мг/л	3,0159 мг/л

По результатам анализа можно увидеть, что содержание всех компонентов не превышает норму, предприятие грамотно подходит к вопросу очистки вод, загрязнёнными тяжёлыми металлами. В целях обеспечения систематического экологического контроля и получения полной и достоверной информации о влиянии источников загрязнения на окружающую среду проводится локальный мониторинг окружающей среды. На предприятии функционирует лаборатория охраны окружающей среды, оснащённая современным оборудованием, которая аккредитована по всем направлениям исследований в сфере охраны окружающей среды: определение загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и воздухе промышленных выбросов; сточных, поверхностных и подземных водах, а также в почвах предприятия. В апреле 2017 года подтверждён и продлён до 2022 года срок действия аттестата аккредитации лаборатории охраны окружающей среды, что позволяет предприятию в соответствии с природоохранным законодательством вести все виды мониторинга окружающей среды собственными силами без привлечения сторонних организаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полуэктов Н.С. Методы анализа по фотометрии пламени. – Москва: Госхимиздат, 1959. – 232 стр.
2. Физико-химические методы анализа. Лаборатор. практикум / Е.В. Радион [и др]; под ред. Е.В. Радион. – Минск: БГТУ, 2010. – 110 с.
3. Кузяков Ю.Я. Методы спектрального анализа : [Учеб. пособие для хим. спец. ун-тов] / Ю. Я. Кузяков, К. А. Семененко, Н. Б. Зоров. – Москва : Изд-во МГУ, 1990. – 212 с.

УДК 678.55(075.8)

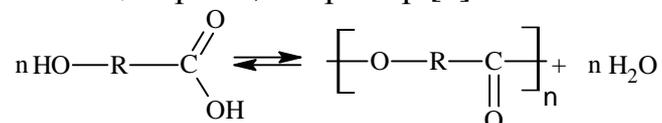
Стажер, мл. науч. сотр. К.С. Кокаш; студ. Д.Н. Черепко  
 Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько  
 (кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

## ПОЛИКОНДЕНСАЦИЯ – ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЙ МЕТОД СИНТЕЗА ПОЛИМЕРОВ

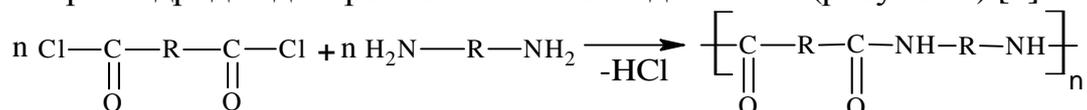
Поликонденсация – это процесс образования макромолекул путем взаимодействия друг с другом реакционных центров всех реагентов системы [1].

При цепном росте макромолекул на любой стадии процесса в реакционной системе всегда присутствуют исходный мономер, растущие активные цепи и завершившие рост макромолекулы («мертвые» цепи). В процессе поликонденсации мономер (мономеры) в основном исчерпывается на начальных этапах реакции и далее в системе присутствуют только полимеры (олигомеры), реагирующие друг с другом.

Применяемые для синтеза полимеров методом поликонденсации мономеры разделяют на две группы: мономеры для гомополиконденсации и мономеры для гетерополиконденсации. Строение и реакционная способность мономеров для поликонденсационного метода синтеза полимеров играют решающую роль. Для образования цепи из молекул мономеров необходимо, чтобы каждая молекула мономера прореагировала двумя реакционными центрами, например [2]:



На практике чаще используют мономеры с функциональными группами – OH, – COOH, – NH<sub>2</sub>. Важной характеристикой мономеров является их функциональность – число реакционных центров (или функциональных групп) в одной молекуле. От значения функциональности зависит возможность образования линейных, разветвленных или трехмерных макромолекул. При поликонденсации бифункциональных мономеров образуются линейные цепи, например, при взаимодействии дихлорангидридов дикарбоновых кислот и диаминов (рисунок 1) [2].



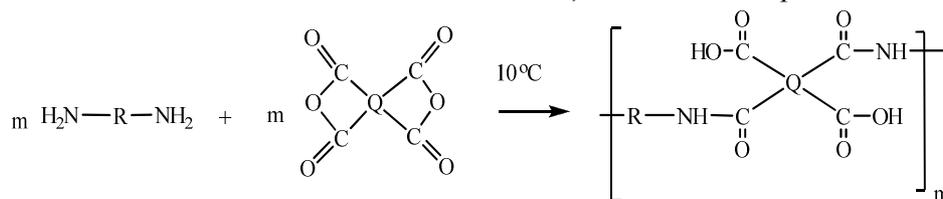
**Рисунок 1 – Взаимодействие дихлорангидрида дикарбоновых кислот с диаминами**

Если же один или оба исходных мономера имеют три или более функциональных групп, то возможно образование трехмерного про-

странственного полимера, как в случае поликонденсации триметиллометана и терефталевой кислоты.

Методом поликонденсации в промышленности получают: фенолокарбамидо-, меламино-, анилиноформальдегидные, эпоксидные олигомеры, сложные насыщенные и ненасыщенные, модифицированные и немодифицированные олигомеры и полимеры, полиамиды, фурановые и элементоорганические высокомолекулярные соединения, которые широко используются для создания огромного ассортимента полимерных материалов различного назначения. Среди разработанных полимерных материалов в последние годы особый интерес представляют полиимиды, обладающие уникальным комплексом технически важных эксплуатационных свойств – высокими физико-механическими и диэлектрическими характеристиками, сохраняющимися в широком интервале температур от  $-200$  до  $+500^{\circ}\text{C}$ . Благодаря этому они незаменимы в новейших отраслях новой техники и технологии, в том числе авиакосмической. На их основе получают пленки, волокна, композиционные материалы, покрытия. Однако полиимиды обладают не достаточной адгезионной прочностью к различным субстратам, что ограничивает их практическое использование в качестве защитных покрытий в микроэлектронике. В этой связи представляет значительный интерес проведение исследований в направлении улучшения адгезии полиимидных покрытий [3].

Анализ научной и патентной литературы показал, что использование ряда соединений металлов, например, ацетилацетонатов железа, алюминия, меди, кобальта, гексафторфосфата ферроцена, гексафторфосфата кобальтоцена, золота, серебра позволяет решать проблемы адгезии этого уникального полимера, не ухудшая термических и деформационно-прочностных свойств. В данной работе нами в качестве металлоорганического соединения-модификатора промышленно-применяемого полипиромеллитимида (ПМ) использован ацетилацетонат марганца. Синтез полиимида ПМ осуществляли методом поликонденсации 2-х стадийным способом. В качестве исходных мономеров использовали тщательно очищенный перекристаллизацией в уксусном ацетиле с последующим прогревом в вакууме при  $250^{\circ}\text{C}$  диангидрид пиромеллитовой кислоты и свежесублимированный в вакууме 4,4'-диаминодифениловый эфир. Первую стадию синтеза осуществляли в осушенном гидридодом кальция и перегнанном в вакууме диметилформамиде. Процесс осуществляли по следующей схеме взаимодействия ароматического диамина с диангидридом тетракарбоновой кислоты (рисунок 2) [2]:



**Рисунок 2 – Взаимодействие ароматического диамин  
с диангидридом тетракарбоновой кислоты**

Реакцию поликонденсации проводили при комнатной температуре в токе тщательно очищенного и осушенного азота. В результате получали вязкий слегка желтоватый раствор форполимера - полиамидокислоты, растворимой в полярных апротонных растворителях (диметилформамиде, диметилацетамиде, диметилсульфоксиде, N-метилпирролидоне или их смесях) с характеристической вязкостью 1,83. Характеристическую вязкость определяли в растворе диметилформамида. В раствор полиамидокислоты вводили расчетное количество модифицирующей добавки ацетилацетоната марганца. При этом раствор полимера приобретал ярко-малиновую окраску, которая не исчезала после термообработки пленок. Из полученного раствора отливали пленки на стеклянные подложки. После удаления растворителя в вакууме при повышенной температуре окрашенные пленки снимали со стеклянных пластин и подвергали термической обработке в инертной среде (в токе азота) в сушильном вакуумном шкафу или в вакууме в специально сконструированной ячейке при постепенном подъеме температуры от комнатной до 350°C. В процессе нагрева происходил процесс циклодегидратации полиамидокислоты с выделением воды в качестве побочного низкомолекулярного продукта и одновременное образование имидного цикла в макромолекулярных цепях полиамидокислоты.

Полученные пленки модифицированного ацетилацетонатом полипиромеллитимида ПМ подвергали тем же исследованиям, что и немодифицированные образцы полиимидных пленок: определяли термическую устойчивость, прочность при разрыве, модуль упругости, относительное удлинение при разрыве.

Адгезию полиимидных покрытий к металлическому, стеклянному, ситалловому или полупроводниковому субстрату определяли с помощью динамометра, методом отрыва.

Исследование спектральных характеристик пленок из модифицированного полиамида осуществляли на ИК фурье-спектрометре Nicolet 7101 в диапазоне частот 4000-300 см<sup>-1</sup>. Изучение термостойкости полученных образцов пленок проводили с использованием термоаналитиче-

ской системы TGA/ DSCI Mettbr Toledo (Швейцария), с температурой в интервале 20-800°C при скорости подъема температуры 5°C/мин.

Деформационно-прочностные свойства модифицированных полиимидных пленок определяли на разрывной машине УМИВ. Зажимная длина образца 250 мм, ширина 3 мм, толщина пленки 20-25 мкм, погрешность определения не превышала 5-6 % с надежностью 0,95.

Как показали проведенные исследования, механические и термические свойства синтезированных пленок ПМ, модифицированных ацетилацетонатом марганца, обладают повышенными характеристиками в сравнении с немодифицированными образцами. На основании этого можно предположить формирование в системе полиимида трехмерной структуры, обеспечивающей упрочнение и снижение подвижности полимерных цепей в системе полимера, что в совокупности приводит к улучшению эксплуатационных показателей полученного материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коршак, В.В. Неравновесная поликонденсация / В.В. Коршак, С.В. Виноградова. – М.: Наука, 1972. – 692 с.
2. Прокопчук, Н.Р. Химическая технология полимеров и композиций / Н.Р. Прокопчук, Э.Т. Крутько. – Мн.: БГТУ, 2013. – 507 с.
3. Коршак, В.В. Термостойкие полимеры / В.В. Коршак. – М.: Наука, 1969. – 381 с.

УДК 667.633.26.019

Студ. Д.В. Эсауленко

Науч. рук. ст. преп. А.И. Глоба

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

### **ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАСЫЩЕННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОЛИГОЭФИРОВ НА СТАДИИ СИНТЕЗА**

В производстве лакокрасочных материалов наиболее широко используются алкидные полимеры. Алкиды представляют собой сложные эфиры многоатомных спиртов с многоосновными кислотами или их ангидридами, модифицированные растительными маслами. К числу преимуществ этого вида лакокрасочных материалов относится частичное использование для их производства возобновляемого природного сырья и возможность изготовления большого разнообразия композиций, которые могут быть использованы в различных целях.

Введение модификаторов позволяет изменять свойства пленкообразователей в нужном направлении, оказывая при этом минимальное влияние на технологию производства. Это расширяет область применения алкидных смол в различных средах и при повышенных температурах, позволяет увеличить их срок службы, придать новые специфические свойства или улучшить присущие им характерные особенности. На сегодняшний день существует большое количество методов модификации алкидных смол с целью придания им требуемого комплекса свойств.

Алкидные олигомеры получают главным образом методом алколиза и значительно реже – жирнокислотным методом. Основной реакцией во всех случаях является полиэтерификация, проводимая с избыточным количеством многоатомного спирта. Возможны и другие методы, например, так называемый моноглицеридный метод, в котором на первой стадии осуществляется модификация масла [1].

Свойства алкидных олигомеров определяются природой мономеров, образующих полиэфирную цепь, а также природой и количеством модификатора. Варьирование свойств покрытий на основе модифицированных олигоэфиров достигается следующими основными способами: 1) введение различных сомономеров при синтезе смолы; 2) взаимодействие готовых смол с модифицирующими веществами; 3) смешение смол с другими пленкообразователями.

Цель данной работы заключалась в модификации алкидной смолы диангидридом 4,8-дифенил-1,5-диазабицикло-/3,3,0/-октан-2,3,6,7-тетракарбоновой кислоты (ДАФАЦО) в процессе синтеза. Исходными веществами являлись: кокосовое масло рафинированное дезодорированное отбеленное – это натуральное кокосовое масло, относится к группе лауриновых невысыхающих масел; глицерин – бесцветная, вязкая, гигроскопичная жидкость, неограниченно растворимая в воде; фталевый ангидрид – бесцветные игольчатые кристаллы; диангидрид 4,8-дифенил-1,5-диазабицикло-/3,3,0/-октан-2,3,6,7-тетракарбоновой кислоты (ДАФАЦО) – кристаллы, нерастворимые в воде; сода кальцинированная техническая – порошок или гранулы белого цвета; ксилол – бесцветная жидкость, смешивается с этанолом, диэтиловым эфиром, ацетоном, хлороформом, бензолом. Синтез ДАФАЦО, использованного как модификатор для получения алкидной смолы, осуществляли по реакции двойного 1,3-диполярного циклоприсоединения малеинового ангидрида к бензальзину. В реакторе, снабженном мешалкой, растворяли 0,24 моля высушенного бензальзина в 50 мл хлорбензола, нагревая смесь до температуры кипения. После полного растворения бензальзина постепенно прибавляли 0,53 моля малеинового ангидрида. Реакцию вели при температуре 130–135 °С в течение

90 минут. Выделившиеся белые кристаллы отфильтровывали, промывали горячим бензолом и эфиром, сушили. Получали диангидрид с температурой плавления 240–242 °С. Выход составлял 70 %. Синтез алкидного олигомера проводили по двухстадийной схеме. Модификацию на стадии синтеза осуществляли путем замены в стандартной рецептуре глифталевой алкидной смолы от 0,5 до 3 масс. % фталевого ангидрида на ДАФАЦО.

Первая стадия – алкоголиз кокосового масла и глицерина. В колбу загружали кокосовое масло и глицерин согласно рецептуре. Обратный холодильник подсоединяли непосредственно к колбе. Включив мешалку, обогрев и подачу инертного газа смесь нагревали до 180 °С. При этой температуре в реакционную массу загружали катализатор алкоголиза – соду. Нагрев продолжали до 245 °С и при этой температуре смесь выдерживали 2 часа, контролируя растворимость смеси в этиловом спирте. По окончании алкоголиза смесь охлаждали до 150–180 °С, отключали подачу газа и добавляли требуемое количество фталевого ангидрида, ДАФАЦО, ксилола. Вторая стадия – поликонденсация фталевого ангидрида и ДАФАЦО со смесью образовавшихся глицеридов при 210 °С. Выделяющуюся в процессе воду собирали в ловушку и удаляли. Степень завершенности проверяли, измеряя КЧ алкида. Время поликонденсации до КЧ 15–25 мг NaOH/г от 90 до 360 минут. При достижении требуемого КЧ прекращали нагрев, выключали подачу инертного газа. Охлаждали алкид до 120 °С при перемешивании. После достижения однородной смеси переливали смолу в тару и оставляли на 12 часов на отстаивание. В аналогичных условиях в качестве образца сравнения получена стандартная глифталевая алкидная смола без использования ДАФАЦО в качестве мономера.

По окончанию синтеза был проведен ряд измерений различных показателей качества полученной алкидной смолы и покрытий на ее основе в сравнении со свойствами немодифицированной смолы. Результаты измерений представлены в таблице.

Таблица 1 – Свойства лака и покрытий на его основе

Показатель	Количество замещенного фталевого ангидрида на ДАФАЦО, масс. %					
	0%	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	3,0%
Сухой остаток смолы, %	70	70	68	67	63	59
Степень отверждения смолы, %	97,2	96,9	98,1	98,4	98,5	98,5
Статическое воздействие жидкостей, сут:						
- раствор NaCl	<1	<1	2	2	2	3
- раствор HCl	15	15	18	20	20	20
Твердость	0,45	0,47	0,50	0,55	0,6	0,68
Прочность при ударе	30	35	40	45	55	55

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что смола обладает лучшими качественными показателями (относительная твердость, прочность при ударе, адгезия, стойкость к воздействию растворов соляной кислоты и хлорида натрия), чем немодифицированная смола.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прокопчук Н.Р., Крутько Э. Т. Химия и технология пленкообразующих веществ: Учебное пособие для студентов вузов. – Мн.: БГТУ, 2004 г.

УДК 541.64

Студ. Д.Н. Черепко, Н.А. Волощик, Ю.В. Духович  
Науч. рук.: ст. преп. А.И. Глоба  
(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ);  
доц. Е.О. Богдан  
(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии)

#### **ЭМУЛЬСИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АКРИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ**

Среди широкого круга полимерных суспензий особое место занимают полиакриловые дисперсии, которые широко применяются при получении различных материалов для использования в текстильной, целлюлозно-бумажной, лакокрасочной и др. отраслях промышленности. Области применения полиакриловых латексов предъявляют к ним высокие требования. Они должны иметь высокую стабильность к механическому перемешиванию, к действию электролитов, сохранять агрегативную устойчивость при хранении, обладать высокой адсорбцией на волокнах различной природы, способностью быстро пропитывать пористые материалы, формировать бездефектные пленочные покрытия и т.д. [1].

Для выполнения этих требований при разработке способов синтеза латексов необходимо решить такие проблемы, как выбор природы сомономеров и их соотношения, природы и концентрации эмульгатора, условий полимеризации. Это необходимо для обеспечения заданных физико-механических свойств полимера, и соответственно, материалов, полученных на их основе, а также для проведения процесса в условиях обеспечения стабильности реакционной системы.

Цель данной работы заключалась в подборе условий синтеза для получение стабильных акриловых и стирол-акриловых дисперсий.

В ходе синтезов тремя способами было получено 12 стабильных дисперсий:

– эмульсионной сополимеризацией синтез проводили в водной среде в присутствии водорастворимых инициаторов и эмульгаторов при температуре 80°C используя смесь мономеров в соответствии с рецептурами, представленными в таблице 1 (синтезы № 1–6);

– эмульсионной полимеризацией с предварительным получением форэмульсии, при которой в колбу загружали воду и эмульгатор, содержимое перемешивали до полного растворения, затем в полученный раствор при перемешивании вводили смесь мономеров [2]. Перемешивание осуществляли до образования эмульсии белого цвета. Далее в приготовленную форэмульсию добавляли раствор инициатора. В реактор загружали воду, раствор инициатора и при перемешивании со скоростью 120 об/мин нагревали до 80°C. Затем дозировали заранее приготовленную форэмульсию с раствором инициатора в течение 2,5–5,0 часов. По окончании дозировки реакционную массу выдерживали 30 мин при температуре 80°C. В процессе синтеза происходило увеличение вязкости реакционной массы. Рецептуры дисперсий, полученных таким способом, представлены в таблице 1 (синтезы 7–11);

– безэмульгаторной полимеризацией, при которой в реактор загружали воду, включали перемешивание на 150 об/мин, нагревали на водяной бане до температуры 75°C и добавляли смесь бутилакрилата, акриловой кислоты и акрилонитрила, натриевую соль 2-акриламидо-2-метилпропансульфокислоты (AMPS) и раствор инициатора. Реакционную массу выдерживали при 80°C в течение 6 часов (синтез №12, таблица 1). Затем дисперсию охлаждали до 30°C и сливали в сухую тару.

**Таблица 1 – Рецептуры синтезов**

№ синтеза	Компоненты в масс. %									
	Количество воды	Бутилакрилат	Стирол	Акриловая кислота	Метилметакрилат	AMPS	Додецилсульфат натрия	Прессульфат аммония	Третбутилгидропероксид	Аскорбиновая кислота
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	50				50		4		0,22	0,29
2	50				50		4		0,22	0,44

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	40				60		4		0,21	0,44
4	40		30		30		4		0,21	0,44
5	50		25		25		5		0,22	0,53
6	50		25		25		5		0,54	0,88
7	33 (12,3)	63,6		3,4			5	0,6		
8	33 (12,3)	34	29,6	3,4			5	0,6		
9	50 (22,2)	25	22,5	2,5			5	0,6		
10	50 (22,2)	15	32,5	2,5			5	0,6		
11	50 (22,2)	25	22,5	2,5			5	0,6		
12	80	16		2,8		0,3		1,8		

\* – в скобках указано количество воды, использованное для приготовления форэмульсии

Все синтезы проводились в трехгорлой колбе объемом 250 мл, снабженной холодильником, мешалкой с гидрозатвором и термометром, капиллярной системой ввода смеси мономеров. По завершению синтезов определяли размеры частиц полученных дисперсий, их вязкость и сухой остаток ГОСТ 17537-72.

Определение размеров частиц дисперсной фазы осуществляли турбидиметрическим методом (метод Геллера) [3]. Для этого готовили растворы дисперсий сополимеров концентрацией 0,05 моль/л. На спектрофотометре СФ-2000 определяли оптическую плотность дисперсий при различных длинах волн  $\lambda$  падающего света (400, 440, 490, 540, 590 и 670 нм). Строили график зависимости  $\lg D = f(\lg \lambda)$  и определяли характеристику дисперсности  $m$ . По данным таблицы Геллера и по найденному экспериментально значению  $m$  устанавливали диаметр частиц дисперсии сополимера.

Для ряда полимерных дисперсий размер частиц по методу Геллера определить не представлялось возможным, так как значения характеристики дисперсности  $m$  выходили за границы применимости метода. Размеры частиц дисперсий, определенных по данной методике, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Размер частиц дисперсий

Синтез, №	1	8	10	11
d, нм	130	176	108	129

Наименьший размер частиц был достигнут в синтезе №10, наибольший – в синтезе №8. Измерение вязкости дисперсии проводили на ротационном вискозиметре Брукфильда DV-II Pro. Вязкость дисперсий составила 20–110 мПа·с при 20 RPM.

Таким образом, в результате проведения данной работы были осуществлены синтезы водных дисперсий акриловых и стирол-акриловых сополимеров методом радикальной эмульсионной полимеризации в присутствии в составе реакционной смеси эмульгатора и без него. Был определен средний размер частиц полученных дисперсий, вязкость и сухой остаток системы. Полученные характеристики удовлетворяют требованиям, предъявляемые к акриловым и стирол-акриловым пленкообразователям для водно-дисперсионных лакокрасочных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казакова, Е.Е. Водно-дисперсионные акриловые ЛКМ строительного назначения / Е.Е. Казакова, О.Н. Скороходова. – М.: Пэйнт-Медиа, 2003. – 136 с.

2. Способ получения водной дисперсии акрилового сополимера для клеев, чувствительных к давлению: пат. 2 315 062 Российская Федерация МПК С 08 F 2/24, С 08 F 220/18 / Е.С. Ключин, О.И. Ермилова, В.В. Колесова; заявитель фед.-е. гос. ун-е. пред-е «Научно-исследовательский институт химии и технологии полимеров им. акад. В. А. Каргина». - №2006133401/04; заявл. 18.09.2006; опубл. 20.01.2008.

3. Поверхностные явления и дисперсные системы: лаб. Практикум П 42 для студентов химико-технологических специальностей / А.А. Шершавина [и др.]. – Мн.: БГТУ, 2005. – 106 с.

УДК 678.011

Студ. Т.С. Каленик, А.С. Ковалевский  
Науч. рук. ст. преп. Е.П. Усс

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕФТЕПОЛИМЕРНЫХ СМОЛ НА СТОЙКОСТЬ РЕЗИН К ТЕПЛОВОМУ СТАРЕНИЮ**

Введение пластификаторов и мягчителей позволяет снизить вязкость системы, повысить эластичность и пластичность полимеров при переработке и эксплуатации. Некоторые компоненты оказывают специфическое влияние на свойства резиновых смесей – повышают клейкость, уменьшают усадку при формовании и вулканизации и другие [1]. Благодаря клейкости можно проводить сборку многослойных резиновых изделий из заготовок невулканизированных резиновых смесей в производстве шин, резинотехнических изделий и при проведении гуммировочных работ без применения специальных клеев [2]. Целью данной работы явля-

лось исследование влияния нефтеполимерных смол (НПС) с различными физико-химическими характеристиками на деформационно-прочностные свойства резин до и после теплового старения.

Объектами исследований являлись наполненные эластомерные композиции на основе комбинации каучуков общего назначения СКИ-3+СКД+СКМС-30АРКМ-15, в которые вводились НПС различного типа в дозировке 4,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. Образцом сравнения являлись композиции, содержащие продукты переработки каменного угля – стирол-инденовую смолу (СИС) в равноценных с НПС дозировках. Исследуемые смолы были получены из тяжелой пиролизной смолы методом термической полимеризации. Деформационно-прочностные характеристики образцов определяли на разрывной машине Тензометр Т220ДС в соответствии с ГОСТ 270-75. Стойкость образцов к термическому старению в среде воздуха оценивали после выдержки их в термостате при температуре  $(100\pm 2)^\circ\text{C}$  в течение  $(72\pm 1)$  ч согласно ГОСТ 9.024-74.

Прочность является основной характеристикой конструкционных материалов и определяет сопротивление материала разрушению под влиянием механических воздействий, характеризующихся предельным для данного режима нагружения напряжением, при котором происходит разрушение [3]. Известно [4], что введение пластификаторов и мягчителей облегчает ориентацию материала в месте роста области разрыва, облегчает рассасывание перенапряжений, и в силу этих причин в некоторых случаях их введение может сопровождаться существенным увеличением прочности.

Для оценки упруго-прочностных свойств резин определяли условную прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве. Практическое определение прочностных свойств производится в условиях простого растяжения, осуществляемого с постоянной скоростью. В таблице 1 представлены результаты определения деформационно-прочностных показателей резин до теплового старения.

**Таблица 1 – Показатели свойств резин до теплового старения**

Наименование ингредиента	Условное напряжение при 300% удлинении, МПа	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
СИС	5,2	13,5	640
НПС-1	5,6	13,5	630
НПС-2	5,6	14,2	680
НПС-3	5,4	14,1	700

Из данных, представленных в таблице 1 видно, что нефтеполимерные смолы не оказывают значительного влияния на деформационно-прочностные свойства резин. Установлено, что для образцов, содержащих

исследуемые НПС наблюдается повышение до 7,7% значений условного напряжения при 300% удлинении. Значение условной прочности при растяжении для образца с НПС-1 находится на уровне с образцом сравнения и составляет 13,5 МПа. В то же время, условная прочность при растяжении у резин, содержащих смолы НПС-1 и НПС-2 увеличивается до 5,2%. Некоторое увеличение показателя может быть связано с ограниченной совместимостью полимерной матрицы с исследуемыми нефтеполимерными смолами, облегчающими ориентацию надмолекулярных структур при растяжении [4]. Выявлено некоторое увеличение относительного удлинения при разрыве для образцов с НПС по сравнению с образцом с промышленным мягчителем. Так, максимальное значение относительного удлинения при разрыве, равное 700%, определено для образца с НПС-3, что на 9,37% выше, чем у образца сравнения.

При действии на эластомеры повышенной температуры происходит сшивание и деструкция макромолекул, деполимеризация, изменение степени насыщенности, выделение летучих продуктов, а на воздухе – также окисление, образование карбонильных и других кислородсодержащих групп. Характер и скорость этих процессов зависят от типа каучука, состава резиновой смеси, температуры [4]. В таблице 2 приведены рассчитанные результаты изменения деформационно-прочностных свойств резин после старения.

Анализ данных таблицы 2 показал, что изменение показателя условного напряжения при 300% удлинении после теплового старения для образца сравнения составляет 38,5%. В то же время для образцов, содержащих НПС, данные изменения находятся в пределах от 30,4 до 32,1%. Определено, что для всех образцов, содержащих НПС, наблюдается снижение показателей после воздействия повышенной температуры в меньшей степени по сравнению с образцом сравнения. При этом для резин с НПС-2 выявлено наименьшее изменение показателей. В данном случае для образца, содержащего НПС-2, изменение условной прочности при растяжении составляет минус 13,4%, а относительного удлинения при разрыве – минус 20,6%. Улучшение теплостойкости резин может быть обусловлено уменьшением подвижности макромолекул под действием нефтеполимерных смол, вследствие чего затрудняется доступ кислорода между макромолекулами, что приводит к меньшему окислению резин, а также влиянием нефтеполимерных смол на природу поперечных связей резин.

Таблица 2 – Изменение свойств резин после старения

Наименование ингредиента	Изменение показателя		
	по условному напряжению при 300% удлинении, %	по условной прочности при растяжении, %	по относительному удлинению при разрыве, %
СИС	+38,5	-31,1	-29,7
НПС-1	+32,1	-25,2	-30,2
НПС-2	+30,4	-13,4	-20,6
НПС-3	+31,5	-17,0	-25,7

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что введение исследуемых нефтеполимерных смол в эластомерные композиции на основе комбинации каучуков общего назначения позволяет получить резины, не уступающие по стойкости к воздействию повышенных температур образцам с промышленным мягчителем. Это может быть обусловлено физико-химическим составом НПС: неопределенностью, фракционным составом, типом радикалов, а также совместимостью данных смол с каучуком.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев, А.Е. Технология эластомерных материалов / А.Е. Корнев, А.М. Буканов, О.Н. Шевердяев. – М.: ЭКСИМО, 2009. – 287 с.
2. Донцов, А.А. Каучук – олигомерные композиции в производстве резиновых изделий / А.А. Донцов, А.А. Канаузова, Т.В. Литвинова. – М.: Химия, 1986. – 215 с.
3. Бергштейн, Л.А. Лабораторный практикум по технологии резины / Л.А. Бергштейн. – Л.: Химия, 1989. – 248 с.
4. Жовнер, Н.А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров / Н.А. Жовнер, Н.В. Чиркова, Г.А. Хлебов. – Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. – 276 с.

УДК 678.4(043.3)

Студ. А.М. Гавлик, П.С. Петрушко  
Науч. рук. доц. Ж.С. Шашок

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

Эластомерные материалы – особый класс уникальных конструкционных полимерных материалов, способных легко

деформироваться под действием небольших нагрузок и восстанавливать свою форму после весьма значительных деформаций [1].

Для увеличения работоспособности резиновых изделий наряду с совершенствованием конструкций и технологии их изготовления большое значение имеет повышение качества эластомерных композиций, которое может достигаться физической и химической модификацией за счет применения новых типов каучуков, наполнителей, вулканизирующих систем, противостарителей, а также нанесением покрытий [2]. Одним из способов получения новых эластомерных композиций является использование нанодисперсных, нанопористых веществ, уникальные свойства которых связаны с нанометровым размером частиц. В связи с этим открываются перспективы улучшения существующих и создания принципиально новых конструкционных и функциональных материалов [3].

Целью работы являлось исследование влияния наноструктурированного углеродного материала на технологические и упруго-прочностные свойства эластомерных композиций.

В качестве объектов исследования использовались следующие виды углеродного наноматериала (УНМ):

- УНМ монофракции «Р» (ТУ ВУ 691460594.005–2017);
- УНМ «легкая фракция» (ТУ ВУ 690654933.001–2011).

Данные УНМ вводились в эластомерную матрицу на основе комбинации каучуков НК+СК(М)С-30АРК+СКДН в дозировках 0,1 и 0,2 масс. ч. на 100,0 масс. ч. каучука.

Специфику переработки каучуков, а также резиновых смесей определяют их вязкоупругие свойства. Результаты исследований вязкости по Муни эластомерных композиций представлены в таблице 1. Результаты исследования показали, что введение УНМ в резиновые смеси на основе комбинации каучуков общего назначения приводит к уменьшению до 17% вязкости по Муни. Такой характер изменения свойств, вероятно, обусловлен природой полимерной матрицы и вводимых добавок, а также особенностями их взаимодействия друг с другом.

**Таблица 1 – Вязкость по Муни резиновых смесей**

Наименование добавки	Дозировка добавки (масс. ч.)	Mmax, усл. ед. Муни	ML, усл. ед. Муни
Без добавки	–	80,3	50,3
Монофракция «Р»	0,1	74,3	45,2
	0,2	76,2	46,8
Легкая фракция	0,1	85,6	48,9
	0,2	68,0	41,9

Примечание – Mmax – начальная вязкость по Муни (пиковое значение крутящего момента после прогрева образца, «пик Муни»), усл. ед. Муни; ML – вязкость по Муни, усл. ед. Муни.

В таблице 2 приведены данные по определению релаксации напряжения исследуемых композиций.

**Таблица 2 – Показатели релаксации напряжений резиновых смесей**

Наименование добавки	Дозировка добавки (масс. ч.)	$\text{tg}\alpha'$	$K_p$ , %
Без добавки	–	-0,481	37,36
Монофракция «Р»	0,1	-0,465	39,17
	0,2	-0,468	38,58
Легкая фракция	0,1	-0,475	42,87
	0,2	-0,454	38,40

Примечание –  $\text{tg}\alpha'$  – тангенс угла наклона касательной к кривой релаксации через 1 с после остановки ротора;  $K_p$  – коэффициент релаксации, %.

Выявлено, что введение различных типов структурированного углеродного материала в композиции на основе неполярных каучуков приводит к некоторому облегчению протекания релаксационных процессов в объеме полимерной матрицы. Так, введение в смесь легкой фракции в дозировке 0,1 масс. ч. приводит к увеличению коэффициента релаксации  $K_p$  на 15%, по сравнению с образцом без добавок. Изменения релаксационных свойств резиновых смесей при введении УНМ может быть обусловлен влиянием нанодобавки на взаимодействие частиц наполнителя друг с другом, что облегчает ориентацию макромолекул, а также оказывает влияние на взаимодействия компонентов смеси друг с другом при наличии в объеме эластомерной матрицы высокодисперсной реакционноспособной добавки. На прочностные свойства резин большое влияние оказывают природа каучука, тип вулканизирующей системы и характер образующихся в процессе сшивания пространственных структур. Результаты исследования упруго-прочностных свойств резин на основе НК+СК(М)С-30АРК+СКДН представлена в таблице 3.

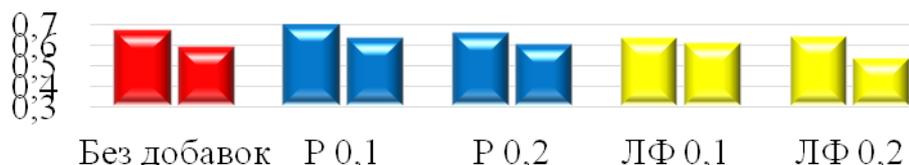
**Таблица 3 – Упруго-прочностные свойства**

Наименование добавки	Дозировка масс. ч.	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
Без добавки	–	23,4	485
Монофракция «Р»	0,1	23,3	460
	0,2	23,0	480
Легкая фракция	0,1	23,1	490
	0,2	23,7	490

Из представленных данных видно, что введение в эластомерные композиции исследуемых УНМ во всех дозировках практически не оказывает влияния на упруго-прочностные свойства вулканизаторов. Так, значение условной прочности при растяжении и относительного

удлинения при разрыве у исследуемых образцов находятся в пределах 23,0–23,7 МПа и 460–490 %, а у образца сравнения 23,4 МПа и 485 % соответственно.

Стойкость резин к воздействию повышенных температур во многом определяет их эксплуатационные свойства. На рисунке 1 и 2 представлены коэффициенты старения резин по относительному удлинению при разрыве и условной прочности при растяжении (при 100°С в течении 72 и 120 часов).



**Рисунок 1 – Коэффициент старения резин по относительному удлинению при разрыве**



**Рисунок 2 – Коэффициент старения резин по условной прочности при растяжении**

Установлено, что введение в эластомерные композиции 0,1 масс. ч. монофракции «Р» приводит к повышению стойкости резин к тепловому старению до 25%. Такой характер изменения свойств, вероятно, обусловлен тем, что применение в резиновых смесях УНМ приводит к образованию в вулканизатах менее сульфидных поперечных связей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мищенко, С. В. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение / С. В. Мищенко, А. Г. Ткачев. – М. : «Машиностроение», 2008. – 172 с.
2. Модификация свойств полимерных материалов малыми концентрациями фуллероидов / И. С. Епифановский [и др.]. // Перспективные материалы. – 2006. – № 2. – С. 15–18.
3. Юрковский Б, Юрковская Б. Некоторые исследования нанокompозитов каучука / Тез. докладов международной конференции по каучуку и резине, – Москва, 2004. – С. 28

УДК 678.7

Студ. Я.М. Прокопович

Науч. рук. доц. К.В. Вишнеvский

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

## **ЭЛАСТОМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛЯРНОГО КАУЧУКА С КОРРУНДОВЫМИ МИКРОСФЕРАМИ**

Содержащие алюминий материалы достаточно широко используют в различных промышленных применениях и технологиях, начиная от монокристаллов в оптических и оптоэлектронных применениях и заканчивая поликристаллическими абразивными зернами, которые используют, например, в свободных абразивах, связанных абразивах и в абразивах с покрытием (в абразивных гибких инструментах). Содержащие алюминий материалы обычно являются полиморфными и могут содержать различные гидратные формы, такие как бемит и гиббсит. Среди различных содержащих алюминий материалов особый интерес представляет оксид алюминия или глинозем. В различных промышленных применениях оксид алюминия используют в его самом твердом и наиболее стабильном аллотропном состоянии, а именно в виде альфа оксида алюминия. Однако переходные формы оксида алюминия, которые включают в себя гамма, дельта и тета оксид алюминия, также вызывают коммерческий интерес, так как эти фазы имеют желательные свойства, такие как высокая твердость и высокая площадь поверхности, что позволяет использовать переходные оксиды алюминия в таких различных областях.

В настоящее время переходные оксиды алюминия обычно получают за счет термообработки материалов предшественника переходного оксида алюминия, таких как гиббсит, бемит или бейерит, при температуре желательного фазового превращения. Другие известные технологии основаны на прямом синтезе с использованием влажной химической обработки, например с использованием гидролиза металлоалкоголята алюминия. Известные в настоящее время технологии имеют низкую производительность, высокую стоимость производства и/или ограниченную гибкость, не позволяющую создавать новые морфологии, которые представляют интерес для новых рынков сбыта, основанных на использовании переходных оксидов алюминия.

Целью данной работы являлось исследование влияния добавок корундовых микросфер на свойства эластомерных композиций на основе полярного бутадиен-нитрильного каучука, в качестве наполнителя ис-

пользовалась неактивная марка технического углерода. На начальном этапе оценивались технологические свойства резиновых смесей, так в данной работе уделено внимание вязкости по Муни исследуемых эластомерных композиций. Добавка вводилась в композиции дополнительно в дозировках 2,5 и 5,0 масс.ч. на 100,0 масс.ч каучука, в качестве образца сравнения использовалась композиция не содержащая добавок.

Основные характеристики полых корундовых микросфер:

Материал: тета и альфа оксид алюминия  $Al_2O_3$  (корунд);

Химическая чистота – 99,6%;

Сферическая форма;

Большая площадь поверхности,  $cm^2/cm^3$ ;

Размер микросферы 5-180 микрон;

Насыпная плотность – 0,8-2,0  $г/см^3$ ;

Огнеупорность – 1700-1800 °С;

Прочность при сухом сжатии до 120 МПа;

Теплопроводность – 0,1-3 Вт/(м•К).

Вводимые добавки были разделены на фракции по размерам частиц, в работе использовались 3 фракции: до 5, до 40 и до 70 мкм.

На рисунке 1 представлена модель полой корундовой микросферы.

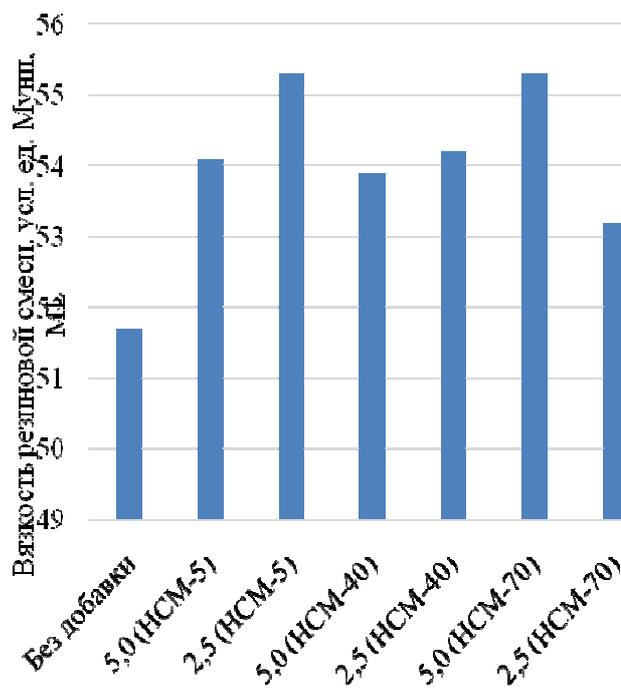


Рисунок 1 – Модель полой корундовой микросферы

Полая корундовая микросфера имеет внутреннюю закрытую полость определенного размера, размер полости зависит от размера микросферы и толщины стенки. При добавлении в керамическую массу НСМ размещается между острыми оgranенными частицами абразива и создает пору вокруг себя самой. Прочность частицы абразивного зерна (плавленый электрокорунд, карбид кремния) намного выше, чем прочность мик-

росферы НСМ, поэтому режет металл в основном зерно абразива, а вскрывшаяся микросфера «мягко» подрезает образовавшиеся мелкие заусенцы и разрушается, образуя новые острые кромки. Таким образом, вскрывшаяся микросфера самозатачивается.

На рисунке 2 представлена зависимость вязкости по Муни резиновой смеси на основе бутадиен-нитрильного каучука от размера частиц и дозировки вводимой добавки.



**Рисунок – Зависимость вязкости по Муни резиновой смеси на основе бутадиен-нитрильного каучука от размера частиц и дозировки вводимой добавки**

Экспериментальные данные показали, что во всех смесях при введении добавки происходит увеличение вязкости по Муни на 3-7%. Следует отметить, что в резиновой смеси, содержащей повышенную дозировку пластификатора (резиновая смесь на основе БНКС-18АМН) добавка НСМ-70 в количестве 2,5 мас. % в меньшей степени оказывает влияние на значение показателя вязкости резиновых смесей.

Таким образом, частицы корундовых сфер с размером частиц до 40 мкм увеличивают вязкость смесей, по-видимому, это связано с большой удельной поверхностью и при ее сокращении наблюдается уменьшение эффекта.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЕНОГАСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Общеизвестной мировой тенденцией при разработке лакокрасочных материалов считается переход от органорастворимых к более экологически безопасным водным системам. В связи с этим, одной из значимых проблем при составлении рецептур водно-дисперсионных лакокрасочных материалов является проблема пеногашения.

Пеногасители представляют собой нерастворимые или, по крайней мере, частично нерастворимые в воде активные ингредиенты, гидрофобные частицы или их смеси [1].

Структура пены неоднородна. Выбор пеногасителя для каждой конкретной системы преимущественно основывается на эмпирических данных. Важными критериями выбора являются природа дисперсии, объемная концентрация пигмента, метод нанесения и условия введения пеногасителя [2].

В качестве ЛКМ рассматривается ВД ЛКМ на основе акриловой дисперсии марки Liocryl AM 916. В лакокрасочную композицию помимо этого входили: вода, пеногаситель, коалесцирующая добавка Butilcarbitol, акриловая дисперсия, пигментная паста на основе железоксидного черного пигмента, загуститель марки ВУК 425

Для исследования применяли пеногаситель на основе носителя из минеральных масел марки DrewPlus L-1513, пеногаситель на основе полиэфирсилоксанового сополимера марки Tego Foamex 1488, а также пеногасителя на основе смеси пеногасящих полисилоксанов марки ВУК-022, а также их смесей. Оценивали визуально наличие дефектов покрытия, таких как кратеры и неровности слоя. Вместе с тем измеряются свойства покрытий: толщина покрытия, яркость, относительная твердость по маятнику Кенига, адгезия при отрыве, а также блеск, так как некоторые компоненты пеногасителя могут снижать этот показатель. В образцы полученного лакокрасочного материала ввели исследуемые пеногасители в следующих концентрациях:

- Tego Foamex 1488 (0,1%, 0,5%, 1,0%, 1,5%);
- DrewPlus-L1513 (0,5%, 0,8%, 1,0%);
- ВУК-022 (0,03%, 0,5%, 1,0%).

В таблице 1 приведена рецептура исследуемого лакокрасочного материала.

Таблица 1 – Базовая рецептура исследуемого лакокрасочного материала

Компонент	Количество, г
<i>Приготовление пигментной пасты</i>	
Вода	2,14
ВУК 2010	0,214
Омиокарб	5,14
Черный ж/о	3,19
Бутилкарбитол	0,34
Аммиачная вода	0,086
<i>Составление краски</i>	
Вода	13,54
Бутилкардитол	4,51
Дисперсия	67,69
ВУК 425	3,15

После составления и выдерживания краски в течение 24-х часов, провели исследования на пеногасящую способность, а также образцы нанесли на подложки из полистирола.

Анализируя полученные данные, можно сказать, что приведенный пеногасители достаточно хорошо ликвидируют макропену, но время разрушения микропены нуждается в сокращении. Худшие показатели времени оседания микропены были получены при использовании пеногасителя Tego Foamex 1488, а разрушения микропены при использовании ВУК-022.

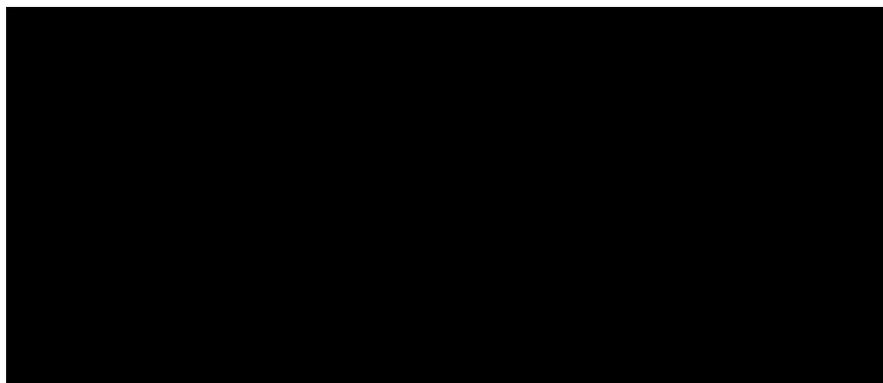


Рисунок 1 – Время разрушения микропены

Таким образом пеногаситель ВУК-022 лучше всех ликвидирует макропену, а DrewPlus-L1513 оказывает лучшее воздействие на микропену в данной лакокрасочной системе. Для дальнейших исследований были использованы смеси пеногасителей DrewPlus-L1513 и ВУК-022 в различных соотношениях, а также при различных концентрациях смесей в готовых системах. DrewPlus-L1513:ВУК-022 в соотношениях 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3 при дозировках смесей 0,1%, 0,5%, 1,0% в пересчете на всю рецептуру.

Соответственно, при использовании разных типов пеногасителей в данной системе, каждый из них выполняет свою задачу по характерному для него механизму, тем самым снижается как время ликвидации макро и микропены на 25% и 58,3% соответственно, дозировка добавок уменьшается в несколько раз (рисунок 2, 3).

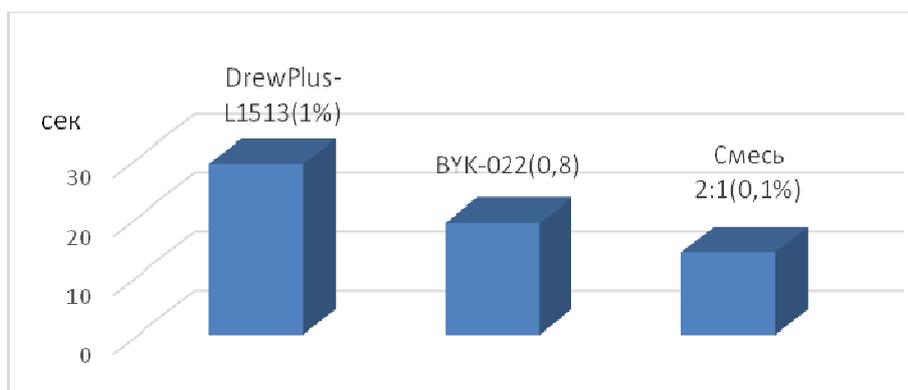


Рисунок 2 – Время разрушения макропены

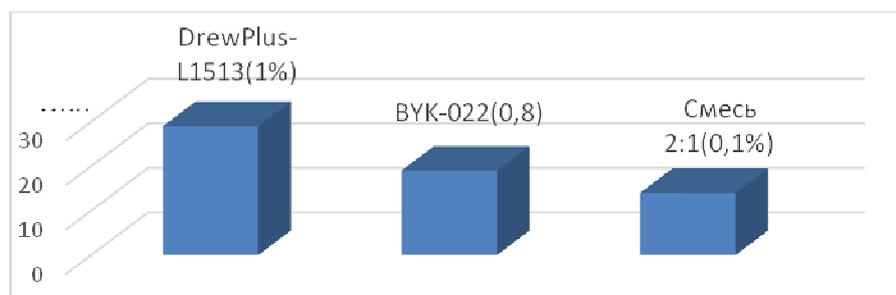


Рисунок 3 – Время разрушения микропены

#### ЛИТЕРАТУРА

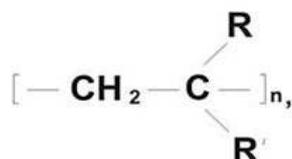
1. Хайлен В. «Добавки для водорастворимых лакокрасочных материалов», пер. с англ. А.А. Корда, М, 2011.
2. Шинкович, Д. Н. Разработка пеногасящей системы для водно-дисперсной краски для окрашивания пластмасс / Д. Н. Шинкович, А. А. Мартинкевич, Н. Р. Прокопчук // Труды БГТУ. - Минск : БГТУ, 2014. - № 4 (168). - С. 18-21.

УДК 678.674

Студ. А.Н. Ксензова, Д.А. Макаренко, Е.П. Пеховская  
Науч. рук. доц. Р.М. Долинская  
(кафедра полимерных композиционных материалов)

## СВОЙСТВА ПОЛИОЛЕФИНОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

К основным промышленным термопластам относятся полиолефины. По объему производства полиолефины занимают одно из ведущих мест среди полимерных материалов. Кристаллические полиолефины обладают комплексом ценных свойств. Полиолефины имеют широкий диапазон состояний, который определяется молекулярной массой и степенью кристаллизации.



Поэтому различают термопластичные полиолефины и эластомеры. Они обладают химической стойкостью и электроизоляционными свойствами, что обуславливает их применение для антикоррозионных и электроизоляционных покрытий [1].

Успехи, достигнутые в области синтеза полиолефинов, позволяют получать эти полимеры с практически идеальной структурой макромолекул. Кроме того их надмолекулярная структура имеет определенную степень разветвленности, содержит ненасыщенные группы, обладает пространственной неоднородностью и др., что обуславливает неоднозначное протекание процессов синтеза и оказывает негативное влияние на весь комплекс свойств. Однако, те требования, которые предъявляются в настоящее время к изделиям из полиолефинов, не могут быть полностью удовлетворены даже в этом случае. Модификация композиций на основе полиолефинов является одним из приоритетных направлений, позволяющих существенно улучшить качество полимеров, а также эксплуатационные характеристики изделий на их основе. Поэтому поиск новых модификаторов и их систем, обладающих более высокой активностью, широким спектром действия, экологически чистых экономически более перспективных, является важной задачей.

Модификация дает возможность достижения значительного экономического эффекта за счет удешевления и упрощения технологии изготовления полимерных композиций, а так же возможностью восстановления или изменения свойств отработанных изделий, обеспечивающих их

повторное использование. Химическая модификация полимеров – направленное изменение свойств полимеров при введении в состав макромолекул малого количества фрагментов иной природы (модификация на стадии синтеза полимера; модификация, основанная на химических превращениях уже синтезированных макромолекул).

Физическая модификация направленное изменение свойств полимеров, осуществляемое преобразованием их надмолекулярной структуры под влиянием физических воздействий или введением малых количеств веществ иного строения. В отличие от модификации химической, при модификации физической химическое строение макромолекул сохраняется. С помощью различных методов модификации можно придать полимерным материалам и изделиям на их основе заданный комплекс свойств [2].

Для придания полимеру заданного комплекса свойств нами были использованы смеси стабилизаторов. Светостабилизаторы замедляли фото- и термохимическое старение композиции, в результате сохранялись высокие показатели эластичности и морозостойкости. Кроме того, светостабилизированные композиции отличались от обычных композиций отсутствием ускоренного старения. Исследование технологических и физико-механических свойств модифицированных композиций показало, что их введение в композицию в количестве от 1,0 до 3,0 % приводит к увеличению вязкости полимера, а также улучшению некоторых физико-механических свойств (прочности при разрыве).

Таким образом, даже небольшое содержание (1-3%) светостабилизаторов привело к улучшению показателей качества композиции, следовательно, и изделий на их основе:

- на 3-5 градусов повысилась теплостойкость;
- паро- и водонепроницаемость повысилась на 15-18%;
- эластичность композиций не изменилась.

Из полиолефинов можно производить пленку (а), трубы, шланги, листовые материалы (б), оболочка для кабелей (в), различную тару, профильные и другие изделия (рисунок 1).

Нами на основе светостабилизированного полиэтилена был получен пенополиэтилен. Пенополиэтилен широко используется в строительстве для дизайна и отделки поверхности. Для получения пенополиэтилена в полиэтилен добавляли огнеупорные компоненты. Для изготовления использовали метод экструзии, в результате которого получали вспененный полиэтилен с воздухом внутри.



**Рисунок 1 – Изделия на основе полиолефинов: а – пленка; б – листовые материалы; в – оболочка для кабелей**

Была измерена теплопроводность полученных образцов. Показатели теплопроводности пенополиэтилена составили  $\sim 0.037$  Вт/м $\cdot$ К; а гигроскопичность была не более 1,1%. Это позволит использовать полученный материал в качестве защитного от жидкостей и влаги. Пенополиэтилен можно также использовать в качестве звукоизоляции не только в строительстве, но и в машиностроении. Полученные образцы сохраняли свою прочность и износостойкость при температурах не ниже 240 $^{\circ}$ С. Кроме того, сопоставив прочность полученного материала со справочными данными, установлено, что вспененный полиэтилен толщиной в 1 см может заменить кладку кирпича толщиной 15 см или слой минеральной ваты толщиной 5 см.

Опытные образцы пенополиэтилена обладали следующими показателями:

- коэффициент теплопроводности - не ниже 0.037 Вт/м $\cdot$ °С;
- плотность материала - до 200 кг/м $^3$ .
- прочность на сжатие - до 0.33 МПа;
- продольно-поперечное удлинение – не ниже 210%;
- горючесть материала низкая.

Таким образом, вспененный полиэтилен является распространенным и популярным материалом, который широко используется в различных областях промышленности и обладает высокими техническими характеристиками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Долинская Р.М. Технология и оборудование синтеза и переработки полимеров. – Минск: БГТУ, 2015. – 220 с.
2. Кулезнев В. Н. Смеси полимеров. – М: Химия, 1980.-304 с.

УДК 66.021:51-74

Студ. Н.В. Котов, А.Ю. Гузь, А.О. Семенов, А.С. Булгаков  
Науч. рук. проф. В.А. Седых  
(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров  
и техносферной безопасности, ВГУИТ)

## **РЕШЕНИЯ В ФОРМАТЕ ИНДУСТРИЯ 4.0 ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОИЗВОДСТВУ ПОЛИПРОПИЛЕНА НА АО «ЗАБСИБНЕФТЕХИМ»**

Всего за историю промышленности было три революции. Первая – изобретение парового двигателя, вторая конвейерный способ производства и третья – автоматизация процессов с помощью ЭВМ. Индустрия 4.0 - четвертая промышленная революция, которая происходит уже сейчас. Это новое представление об организации и управлении производством на платформе развития автоматизации и обмена данными.

Производство полипропилена АО «ЗабСибНефтехим» включает следующие стадии: газофракционирование, азеотропную осушку и очистку пропановой фракции от метанола, пиролиз, газофазную полимеризацию, установка по выделению полипропилена.

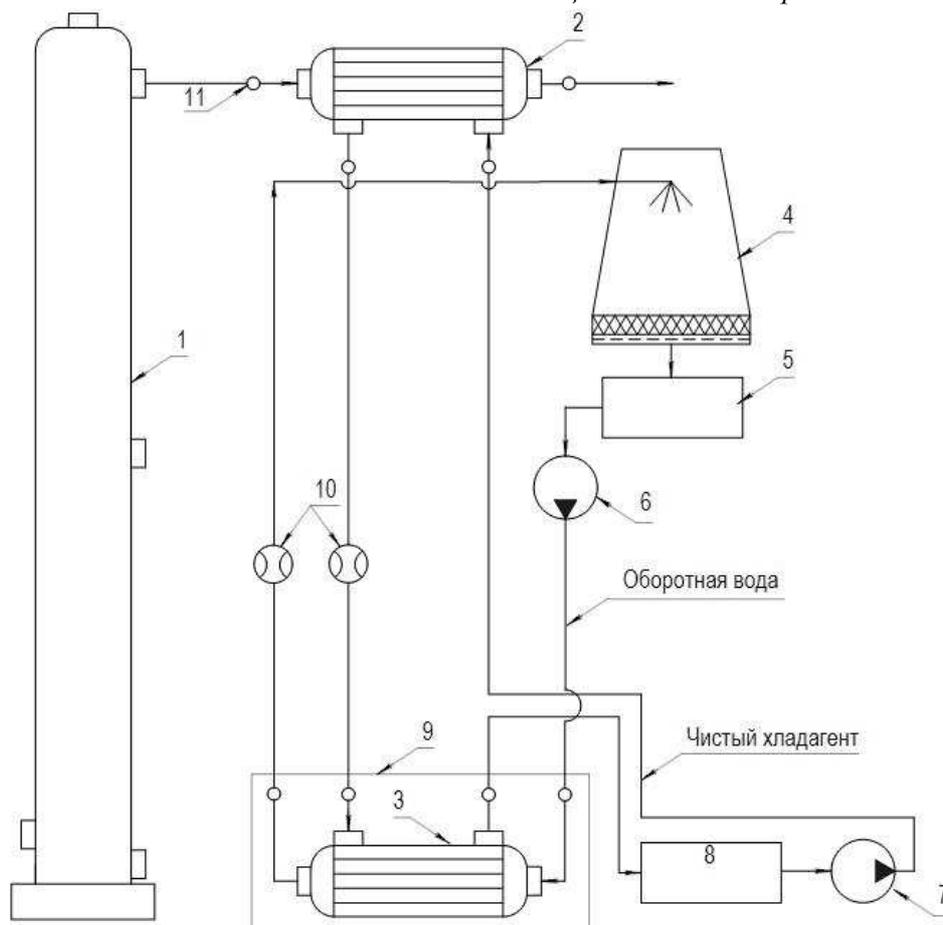
Цель работы – разработка предложений, раскрывающие путь в индустрию 4.0 применительно к рассматриваемому производству.

Задачи - проанализировать производственные процессы ООО «СИБУР Тобольск», выделить ключевые направления цифровизации, оценить влияние предлагаемых решений на энергоэффективность основного технологического процесса включая ТОиР.

Для достижения этой цели, предлагаются следующие решения:

1. Введение второго контура обратного охлаждения конденсаторов ректификационных колонн. В межтрубном пространстве конденсатора и теплообменника локального контура циркулирует чистый хладагент с антикоррозионной добавкой, а в трубное пространство межконтурного теплообменника подается вода централизованного обратного охлаждения [1].

По показаниям термомпар и расходомеров, установленных на входах и выходах теплообменников, по программе рассчитываются тепловые балансы и коэффициенты теплопередачи, по которым косвенно определяются степень загрязнения теплообменников (рисунок 1). Благодаря этому, а также удобному расположению межконтурных аппаратов на нулевой отметке, возможно, их предиктивное обслуживание. Данное решение направлено на увеличение срока пробега основного охлаждающего оборудования и повышение безопасности сотрудников.



1-ректификационная колонна; 2-конденсатор; 3 -теплообменник; 4 -градирня; 5, 8-ёмкости; 6, 7-насосы; 9-техническое помещение; 10-расходомеры; 11-термопары

**Рисунок 1 – Схема двухконтурного охлаждения конденсаторов**

2. Вторым вариантом достижения цели является ультразвуковой неразрушающий метод контроля состояния трубопроводов. Ультразвуковые датчики устанавливаются на неизолированных участках трубопроводов или на специализированного робота, который способен перемещаться в труднодоступные и опасные места установок. Выводимые показания датчиков обрабатываются по программе. Оператор в режиме реального времени анализирует получаемую информацию, распознает дефекты и аномалии трубопроводов (рисунок 2). Эта информация может быть немедленно передана персоналу для принятия срочных мер по ремонту трубопровода [2].

3. ВМ технология - это единая модель (рис. 3), с которой работают все специалисты внося корректировки и изменения, в результате чего и накапливается информация об объекте. Для облегчения создания модели целесообразно применять 3D-сканеры. На объемной модели можно наглядно показать ход работы сотрудника, отображать прогресс пуска и ос-

тановки, как всего производства, так и отдельных узлов во избежание возможных ошибок. На ней видно направление движения потоков, их состав и параметры. Такой подход несколько выходит за рамки 3D моделирования, он включает в себя такие параметры как время, степень освещенности, окружающую среду и прочее [3].

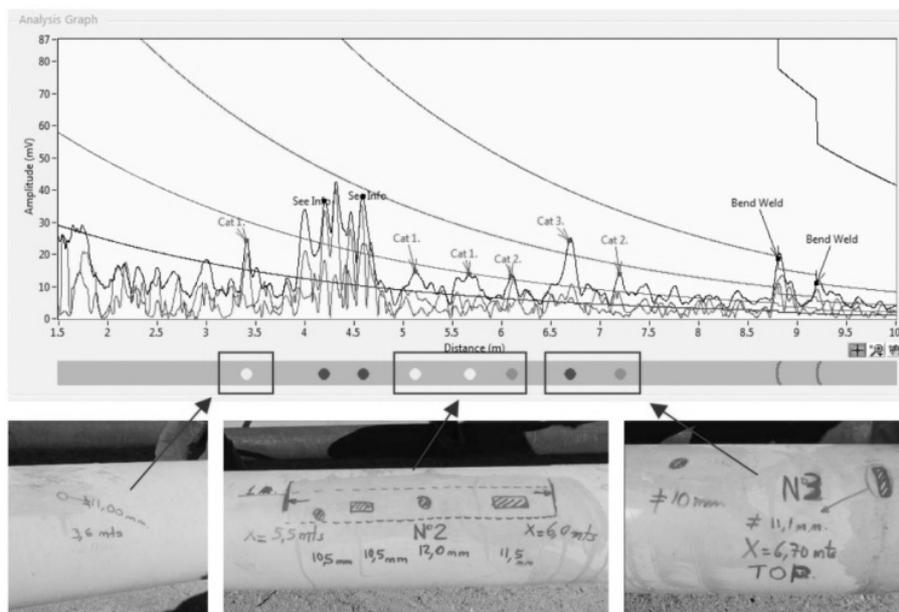


Рисунок 2 – График отражающий состояние трубопровода

В результате способность анализировать и прогнозировать многократно увеличивается, так как большой объем информации будет заключен в компактную и наглядную визуальную форму. Это облегчит выбор необходимых условий для проведения ремонта, позволит неопытным сотрудникам легче осваивать производственные схемы и быстрее проходить путь адаптации.



Рисунок 3 – Пример модели арматуры

Таким образом, предложенные решения позволят снизить удельно-постоянные затраты производства, уменьшат себестоимость продукции за

счет сокращения времени простоя оборудования при пусках и остановках производства, повысят прибыль и увеличат безопасность производства. Ускорит обучение и повышение квалификации персонала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, А.Н. Теплообменное оборудование промпредприятий: учебное пособие / А.Н. Иванов, В.Н. Белоусов, С.Н. Смородин // - СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. - 184 с.
2. Сурин, В.И., Электрофизические методы неразрушающего контроля и исследования реакторных материалов: учебное пособие / В.И. Сурин, Н.А. Евстюхин // М.: МИФИ, 2008,- 168 с.
3. Талапов, В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. - М: ДМК Пресс, 2011. - 392 с.

УДК 66.021

Магистранты Д.С. Соловьёва, М.Н. Мальцев, В.А. Казьмин;  
студ. В.Ю. Барсукова  
Науч. рук. проф. В.А. Седых  
(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров  
и технической безопасности, ВГУИТ)

### **ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНА НА АО «ЗАБСИБНЕФТЕХИМ»**

Цель работы заключается в анализе производственных процессов ООО «СИБУР Тобольск», выявление ключевых направлений цифровизации в соответствии с программой Цифровой Трансформации СИБУР и оценке рисков.

В ходе анализа данных по техническим установкам по предприятию ООО «СИБУР Тобольск» (таблица 1) сделан вывод, что производство мономера - пропилена не вышло на проектную мощность по причине превышения мощности производства полипропилена.

**Таблица 1 – Сведения о технических установках**

Установка	Проектная мощность	Фактическая мощность	Используемые мощности
Производство пропилена	510	493	96,67
Производство полипропилена	500	510,3	102,06

Для оптимизации фактической мощности производства пропилена и полипропилена с последующей отгрузкой дополнительной товарной продукции предложены следующие решения:

### 1. Мобильный комплекс ТОиР.

Комплекс эффективно реализовывает стратегию предиктивного обслуживания (по результатам прогноза о будущем поведении оборудования). Структурно ТОиР - сеть датчиков (NFC-метки), осуществляющих постоянный мониторинг оборудования, а считывающее устройство – взрывозащищённый смартфон обходчика. Достоинства приведены в табл. 2. К рискам следует отнести некорректное отображение данных, возможные уязвимости в системе (нарушение коммерческой безопасности предприятия). Затраты на внедрение - 69,85 миллионов рублей, срок окупаемости - 6 месяцев. Комплекс ТОиР зарекомендован на производствах концерна «Сибур», например, АО «Воронежсинтезкаучук».

**Таблица 2 – Достоинства внедрения мобильного комплекса ТОиР**

Снижение временных затрат специалистов	с 20 до 2 чел. ч/месяц
Уменьшение длительности внеплановых простоев	30 – 50 %
Снижение трудоемкости ТОиР	5 – 20 %
Уменьшение временных затрат аналитической лаборатории	с 5 суток до 4 часов

### 2. Аналитический комплекс Matrix F компании Bruker.

Производство полипропилена включает процессы, происходящие в газовой фазе. Существует необходимость в периодическом отборе проб для лабораторного анализа кондиционности состава газовой фазы. Аналитический комплекс Matrix F работает в ближнем ИК диапазоне и определяет состав газовой смеси в режиме онлайн. Это сеть датчиков, данные с которых поступают на анализирующее устройство. Внедрение аналитического комплекса Matrix F в роли дублирующей системы обеспечит улучшенный контроль за технологическими процессами. Датчики комплекса предлагается разместить во все узлы содержащие газовую фазу. Затраты на внедрение – 2,52 миллиона рублей. Риски: возможность выхода аппаратуры из строя (дублирующий характер системы снижает критичность данного риска), импортный характер оборудования (возможность осложнения поставки комплектующих).

### 3. Автоматизация складских помещений.

Шаттловые стеллажи «Медведь» компактно размещают паллеты, реализуя больше свободного пространства складских помещений (отсутствие необходимости в пространстве между стеллажами для погрузчика). Глубина стеллажей до 40 м, максимальная нагрузка на шаттл до 1,5 тонн (масса стандартного паллета ООО «СИБУР Тобольск» - 1,375 тонн). Через один манипулятор оператор может управлять 6-ю шаттлами. А использование роботизированных погрузчиков «Linde K MATIC» (грузо-

подъёмность – 1,5 тонн, максимальная высота подъёма паллет более 12 метров) уменьшает количество персонала складских помещений. Риск-возможность сбоя в программном обеспечении. Затраты на внедрение – 60 миллионов рублей.

#### 4. Нейронных сети.

На площадке «СИБУР Тобольск» применяется Система Усовершенствованного Управления Технологическим Процессом (СУУТП) [1], но потребность интеграции более совершенного программного обеспечения, по – прежнему, актуальна. Включение в систему СУУТП нейронных сетей, оптимизирующих конкретные технологические этапы, позволит достичь на них роста эффективности. Предлагается внедрить нейронные сети на следующих этапах:

1. Вспомогательное программное обеспечение для аналитического комплекса Matrix F. Идентификация химических компонентов;

2. Оптимальное планирование для складских помещений промежуточного типа (паллетированный полипропилен на погрузку);

3. Оптимизация распределения нагрузки при передаче электроэнергии на всех этапах производства полипропилена [2].

Внедрение нейронных сетей предлагается после реализации представленных ранее решений, так как необходима информация об их функционировании, на основе которой обучаются создаваемые нейронные сети. Предлагаемый разработчик – фирма «ООО НЕЙРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ». Определение стоимости внедрения возможно после анализа имеющихся данных. Риски: выбор неподходящей архитектуры, ошибка при обучении.

Таким образом, описанные решения позволяют достичь роста степени цифровизации на производственной площадке «СИБУР Тобольск». Внедрение мобильного комплекса ТОиР, обладающего низким сроком окупаемости и зарекомендовавшего себя на других производственных площадках концерна «СИБУР», представляется наиболее целесообразным и приоритетным решением вопроса о цифровизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Торгашов, А.Ю. Современные методы построения систем усовершенствованного управления технологическими процессами / А.Ю. Торгашов, А.А. Гончаров, С.А. Самотылова. // Институт автоматики и процессов управления ДО РАН. Владивосток. Вестник ДВОРАН, 2016, № 4. С. 102-107.

2. Satoshi, M. The representation of large numbers in neural networks and its application to economical load dispatching of electric power / M. Sato-

shi, A. Yoshiakira // IJCNN Int. Joint Conf. Neural Networks, Washington, D.C., 1989. Vol.1. – NewYork (N.Y.), 1989. – P. 587-592.

УДК 66.021

Магистранты В.С. Сущенко, М.Н. Мальцев

Науч. рук. проф. В.А. Седых

(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и  
техносферной безопасности, ВГУИТ)

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВ МОНОМЕРОВ И ПОЛИПРОПИЛЕНА НА АО «ЗАПСИБНЕФТЕХИМ»

Тенденции рынка, а также государственная политика России, направленная на изменение экспортно-сырьевой ориентации экономики, обуславливает необходимость активного участия основных игроков отрасли в проектах газо- и нефтехимии.

Реализация проекта «ЗапСибНефтехим» предполагает создание крупнейшего нефтегазохимического комплекса (рисунок 1). Базовой площадкой выступила территория Тобольской промышленной зоны.

Производство полиэтилена и полипропилена включает следующие основные стадии: газофракционирование, азеотропная осушка и очистка пропановой фракции от метанола, пиролиз, газофазный синтез ЛПЭНП/ПЭВП и фазы суспензии ПЭВП, установка по производству полипропилена



Рисунок 1 – Конфигурация производства АО «ЗапСибНефтехим»

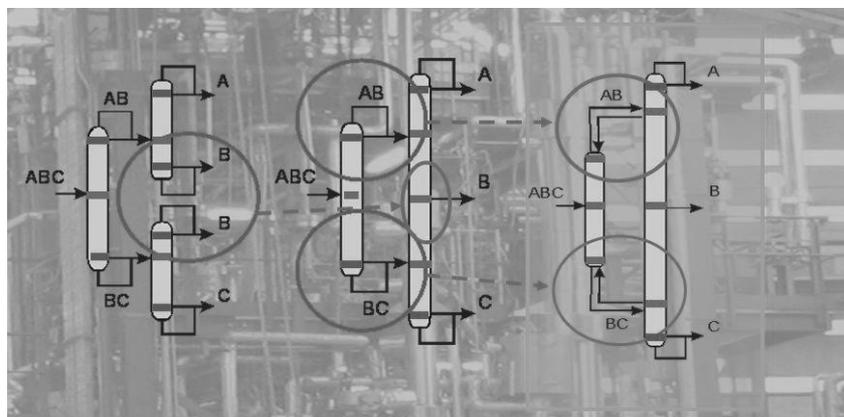
Цель данной работы – предложить пути модернизации исследуемого производства, для увеличения его производительности, уменьшения выхода некондиционной продукции, роста энергоэффективности и повышения автоматизации.

Для выполнения поставленной цели предлагаются следующие мероприятия:

1. Применение комплекса с полностью связанными тепловыми и материальными потоками в ЦГФУ. Это позволит повысить термодинамическую эффективность ректификации (на 10-60%) благодаря удалению зон «вредной» необратимости (компоненты с промежуточной относительной летучестью полностью распределяются между кубом и дистиллятом ректификационных колонн) (рисунок 2)[1].

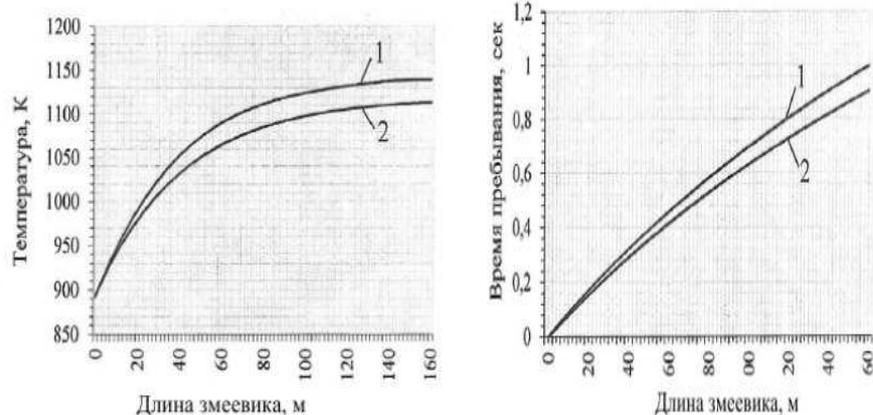
2. Внедрение аналитического комплекса Matrix-F фирмы Bruker позволяет проводить удаленный анализ газовых смесей в онлайн режиме [2]. Благодаря этому возрастает выход кондиционной продукции и повышается контроль за безопасностью производства. Аналитический комплекс состоит из инфракрасного спектрометра и датчиков, которые размещаются во всех узлах содержащих газовую фазу.

3. Применение змеевиков переменного диаметра в установке пиролиза [3]. Отношение диаметров восходящей и нисходящей труб змеевиков отличающихся в 1,15-1,3 раза позволит интенсифицировать процессы тепло – и массообмена, увеличит селективность конверсии сырья и выход целевых продуктов. Анализ температурного профиля (рис. 3) показал, что применение труб переменного диаметра способствует сокращению времени пребывания реакционной смеси в печи и увеличению температуры в зоне реакции. Это позволяет увеличить выход этилена на 2,3% по отношению к аналогу.



**Рисунок 2 – Комплекс с полностью связанными тепловыми и материальными потоками**

4. Использование антистатического соединения для исключения или сокращения нарастания полимерных частиц на стенках реакторов или образования агломератов полимерных частиц, которые могут вызывать закупоривание труб или других компонентов



1 – змеевик с переменным диаметром сечения по длине, 2 – змеевик с постоянным диаметром сечения по длине

**Рисунок 3 – Сравнительные графики изменения температуры и времени пребывания по длине змеевика**

Установки полимеризации [4]. Соединения предпочтительно выбирают из алкилдиэтанолamines, которые можно вводить на любой стадии процесса газофазной полимеризации в количестве, составляющем более чем 100 м. д. по отношению к массе получаемого полимера.

Таким образом, нововведения в ЦГФУ позволят сэкономить до 27% от потребляемой энергии, изменения в пиролизной установке сократят расход сырья на 2,3%, применение антистатиков в аппаратах газофазной полимеризации увеличит выход продукции, а использование аналитического комплекса Matrix-F позволит незамедлительно реагировать на внештатные ситуации и облегчить работу сотрудников лаборатории.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет: [Эл. ресурс]. <http://www.myshared.ru/slide/664583/>
2. Интернет: [Эл. ресурс]. <https://www.bruker.com/ru/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/ft-nir/matrix-f/overview.html>
3. Бикчурина, А.Р. Модернизация блока пиролиза/ А.Р. Бикчурина, И.В. Цивунина // Вестник технологического университета. 2017. - Т.20, №9. С 21-23.
4. Пат РФ № 2535962. С2 Способ газофазной полимеризации олефинов / Мадзукко А., Капуто Т, Ринальди Р. Заяв. и патентообл. Базельль-полиолефин, Италия. – 2012114117/04; заявл. 27.08.2010; опубл. 20.12.2014. Бюл. № 35, – С. 25.

УДК 66.021

Асп. Е.В. Королева;  
магистранты К.С. Игнатова, А.Э. Сетракова, Ю.А. Ишунькина  
Науч. рук. проф. В.А. Седых  
(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и  
техносферной безопасности, ВГУИТ)

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВАХ ОЛЕФИНОВ И ПОЛИПРОПИЛЕНА НА АО «ЗАПСИБНЕФТЕХИМ»**

В настоящий момент нефтегазохимический сектор РФ активно прогрессирует во всем мире и занимает лидирующие позиции в экономическом развитии государства.

Развитие данного сектора РФ является весьма перспективным, так как в настоящее время обеспечен высокий спрос на продукты переработки с высокой добавочной стоимостью.

Использование полимерных материалов стало сегодня неотъемлемой частью нашей жизни. Во всем мире используются различные изделия из полипропилена и полиэтилена, но никто не задумывается, насколько сложен и трудоемок процесс их получения.

Тенденции рынка, а также государственная политика России, направленная на изменение экспортно-сырьевой ориентации экономики, обуславливает необходимость активного участия в развитии отрасли газовой и нефтехимии.

В связи с этим необходимо решить проблему обеспечения потребностей внутреннего рынка и экспортных поставок.

Данная исследовательская работа посвящена усовершенствованию технических схем установок центральной газофракционирующей установки, азеотропной осушки, пиролиза и производства полипропилена на площадке «ЗапСибНефтехим».

Проанализировав описание центральной газофракционирующей установки, были выявлены следующие недостатки: высокая металлоемкость и недостаточная эффективность работы тарелок ректификационной колонны.

Решением данных проблем является переход на более современные клапанные тарелки, принцип работы которых заключается в саморегулировании свободного сечения в зависимости от нагрузки по парам углеводородов.

Клапанные тарелки по сравнению с колпачковыми позволяют обеспечивать работу колонн в режиме противотока, поэтому имеют более высокую эффективность. Следующей стадией производства олефинов явля-

ется азеотропная осушка. На данной стадии образуются метанолсодержащие сточные воды.

В качестве решения предлагается отпарка метанола из воды с последующим его использованием при получении метил-трет-бутилового эфира, формальдегида, мономера - изопрена (рисунок).

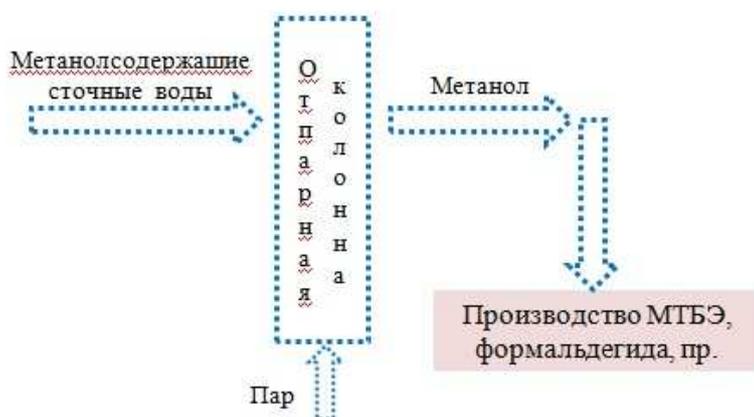


Рисунок – Схема отпарки метанола

Бесперебойная поставка сырья и безостановочная работа ключевых процессных установок – центральной газофракционирующей и азеотропной осушки – являются важным условием успешного функционирования комплекса.

Поэтому для стабилизации функционирования процесса пиролиза целесообразно построить подземные газовые хранилища для этан-пропановой фракции, по примеру хранилищ природного газа.

Следующей рассматриваемой стадией является пиролиз.

Охлаждение пирогаза после блока осушки ступенчато осуществляется в нескольких теплообменных аппаратах: пирогаз протекает по трубам, окруженным кожухом, через который циркулирует хладагент.

В качестве энергоэффективного решения рекомендуется охлаждение воздушными холодильниками, что снизит расходы на хладагенты.

В производстве полипропилена недостатком является разброс показателей готового продукта в партии вследствие недостаточной глубины очистки мономеров от микропримесей и несовершенных приемов регулирования молекулярно-массового распределения.

В качестве решений предлагаются следующие мероприятия по усовершенствованию:

1) химическая доочистка шихты введением алюминий-органического компонента каталитического комплекса,

2) применение гомогенных каталитических комплексов, растворимых в шихте,

3) дробный ввод шихты в реактор полимеризации.

Еще один недостаток производства полипропилена заключается в высокой энергозатратности и металлоемкости оборудования.

Решением данной проблемы является применение безводной дегазации исключаящую последующую сушку полимера от влаги, совмещенной с экструзией и грануляцией.

При выборе решения проблем, в первую очередь, руководствовались экономическими выгодами.

Исключив отжим и сушку, за счет безводной дегазации, сокращаются расходы на дополнительные энергетические ресурсы и сохраняется производственная площадь.

Переход на воздушные холодильники позволит снизить расходы на хладагенты

Целесообразно обеспечить непрерывную работу производства за счет резерва сырья в подземных хранилищах

При установке отпарной колонны появляется возможность получать из метанолосодержащих сточных вод метанол для производства побочных продуктов (МТБЭ, формальдегида, изопрена)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет: [Эл. ресурс]. <http://www.myshared.ru/slide/664583/>
2. Интернет: [Эл. ресурс]. <https://www.bruker.com/ru/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/ft-nir/matrix-f/overview.html>
3. Пат РФ № 2535962. С2 Способ газофазной полимеризации олефинов / Мадзукко А., Капуто Т, Ринальди Р. Заяв. и патентообл. Базель-полиолефин, Италия. – 2012114117/04; заявл. 27.08.2010; опубл. 20.12.2014. Бюл. № 35, – С. 25.

УДК 66.021:51-74

Суд. Е.А. Моргачева, А.Д. Никифорова

Науч. рук. асс. А.С. Москалев

(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров  
и техносферной безопасности, ВГУИТ)

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИПРОПИЛЕНА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Компания ООО «СИБУР Тобольск» рассматривает внедрение цифровых решений с целью увеличения операционной эффективности предприятий. Цифровизация рабочих процессов влияет не только на повышение эффективности, но и на обеспечение высокого уровня безопасности. Качественная же система промышленной безопасности позволяет эффективно минимизировать риски, связанные с реализацией проектов, а также выстроить систему предупреждения инцидентов, охватывающую все стадии производственного процесса, что положительно влияет на эффективность процессов и, как следствие, обеспечивает рост экономических показателей.

В настоящее время уровень «цифровой зрелости» химического и нефтехимического, в частности, сектора не очень высок по сравнению с другими отраслями, но уже сложились определенные тенденции в отношении применяемых цифровых решений.

Внедрение цифровых технологий наряду с положительными эффектами, безусловно, сопровождается определенными рисками. Прежде всего - технологическими и связанными с кибербезопасностью. Последствия нарушения доступности, целостности или конфиденциальности данных процессов могут стоить компании очень дорого.

Среди ключевых параметров производства можно выделить уже имеющиеся на предприятии цифровые системы «Мобильный ТОиР» и Big Data, которые возможно улучшить и модернизировать.

Техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) имеет решающее значение для обеспечения безопасности оборудования в нефтехимической промышленности. Многие аварии происходят из-за работы нестабильного и неисправного оборудования, сложной рабочей среды и человеческих ошибок.

Также среди особенностей стоит отметить большие объемы производства, а также сложность и многоступенчатость технологического процесса, несоблюдение нормативных режимов которого может привести к образованию брака и быстрому износу оборудования.

Для оптимизации производства предлагается перед упаковкой (после экструзии) применять в технологическом процессе фотосепаратор.

Фотосепаратор позволяет удалять из полимерного потока некондиционный материал, который определяется с помощью специальных камер по цветовому спектру. Затем потоком сжатого воздуха, выдуваемого из сопел, удаляется из общего потока. Применение данного оборудования позволит отделить полипропилен с требуемыми свойствами от некондиционного полипропилена, а следовательно минимизировать количество влаги. [1]

По нашему мнению, следует оптимизировать работу сотрудников. Для этого предлагаем модернизировать контроль жизненноважных показателей. На данный момент весь персонал ООО «СИБУР» оснащен браслетами, которые осуществляют контроль пульса. Контроль обозначенных показателей позволит оценить стрессоустойчивость конкретного работника. Данные с браслета передаются руководству, они в последствии станут определяющим фактором при переводе или повышении работника.

Известно, что «простые материалы», такие как задвижки и вентили чаще остальных выходят из строя. Предлагаем модернизировать приложение для обходов заказов нарядов-допусков с применением системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

На всей территории предприятия имеются NFC-метки. При выходе из строя какой-либо единицы оборудования работник с ближайшей NFC-метки считывает информацию и обозначает нужный участок как неисправный. Полученная информация автоматически отправляется как на склад для выдачи продукции, так и в отдел закупок, что существенно сокращает время передачи информации.

Особенно перспективным вариантом решения мы считаем внедрение нейронных сетей на предприятии (рис.).

Для оптимизации технологического процесса предлагаем применение анализа выходных и входных данных в двух точках: синтез мономера, синтез полипропилена. Предлагаемая методика предназначена для предугадывания возможных отклонений выпускаемой продукции от нормы. [2]

Данное решение может привести к следующим проблемам: ошибки достоверности выходных данных, однако их количество будет сокращаться с каждым новым запуском сети; сложность в переобучении; кроме результата, из нейросети нельзя получить другие данные. [3]

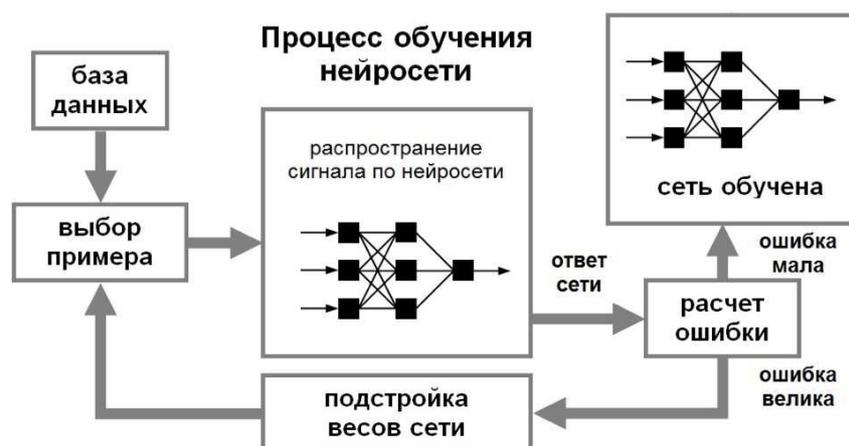


Рисунок – Пример процесса обучения нейросети

Использование нейронной сети позволит сократить количество брака на стадии синтеза мономера, что окажет положительный экономический эффект, сократить затраты энергоресурсов, так как в производство будет пускаться только кондиционная продукция; позволит снизить количество отходов, снизить затраты на производство, и провести сокращение штата сотрудников.

Цифровые решения, позволяющие собирать и анализировать данные о состоянии оборудования, совершенствовать процессы мониторинга и диагностики, сокращают количество ручного труда и снижают влияние «человеческого фактора».

Применение цифровых решений, рассмотренных в статье, позволит повысить доход, энергоэффективность и производительность компании ООО «СИБУР Тобольск».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ 2607537. Фотосепаратор / Никулин Юрий Николаевич, Савинков Максим Владимирович, Галкин Евгений Валерьевич; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "СиСорт".

2. Барский, А.Б. Логические нейронные сети / А.Б. Барский. – М.: Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2007 г.

3. Барский, А.Б. Нейронные сети - распознавание, управление, принятие решений / А.Б. Барский. – М.: Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2004 г.

УДК 66.021:51-74

Студ. О.В. Боголепова, В.И. Ильин

Науч. рук.: проф. О.В. Карманова; проф. С.Г. Тихомиров  
(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техно-  
сферной безопасности; информационных и управляющих систем, ВГУИТ)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Одной из ключевых задач в связи с интенсивным развитием нефтехимической сферы является повышение безопасности производства. Правильно организованная работа по обеспечению безопасности труда повышает дисциплинированность работников, что в свою очередь, ведет к повышению производительности труда, снижению количества аварий и несчастных случаев, поломок оборудования [1].

Цифровые технологии позволяют обеспечить высокий уровень безопасности. Качественная система промышленной безопасности позволяет эффективно минимизировать риски, связанные с реализацией проектов, а также выстроить систему предупреждения инцидентов, охватывающую все стадии производственного процесса, что положительно влияет на эффективность процессов.

Каждое производство включает в себя элементы технических систем и людей, то есть представляет собой эргатическую систему. Эргатическая система – это система, составным элементом которой является человек-оператор. Система, в которой человек-оператор или группа операторов взаимодействует с техническим устройством в процессе производства материальных ценностей, управления, обработки информации, является эргатической системой [2-3].

Важнейшим элементом для обеспечения безопасности такого технологического процесса является надежность. Надежность производства зависит от многих факторов: физико-химические свойства сырья, продуктов и полупродуктов, надежность оборудования, характер технологического процесса, условия хранения и транспортировки химических веществ, состояние средств автоматизации и контрольно-измерительных приборов, эффективность средств противоаварийной защиты. Уменьшение надежности производства на определенном этапе эксплуатации может привести к его отказу. Любой отказ приводит к снижению производительности, расходованию материальных средств на устранение неисправности.

Одним из главных условий безаварийной работы производства является обеспечение надежности «человеческого фактора», представляющего собой комплекс психологических характеристик человека, его возможности и ограничения, определяемые в конкретных условиях его деятельности. Правильное сочетание способностей человека и возможностей

машины существенно повышает эффективность систем «человек — машина» и обуславливает оптимальное использование человеком технических средств в соответствии с их назначением. Учёт человеческого фактора является неотъемлемой частью проектирования, создания и технических систем, необходимым условием повышения производительности труда и качества продукции. Важно минимизировать влияние человека на организацию производства, особенно в случае аварийных ситуаций.

Для снижения влияния человеческого фактора, предлагается внедрение автоматизированной эргатической системы управления.

Данная система позволяет на основе психофизиологического портрета человека оценить возможность перевода технологического процесса из предаварийного состояния в состояние нормальной работы.

Для функционирования системы сначала проводится сбор информации об элементах эргатической системы. Одним из элементов эргатической системы является психофизиологический портрет, который представляет собой модель, позволяющую определить функциональное состояние человека. Функциональное состояние – объективный показатель, отражающий способность человека-оператора выполнять свои функции. В качестве данных, на основе которых определяется функциональное состояние, используются биомедицинские сигналы, например вариабельность сердечного ритма. На основе мониторинга функционального состояния человека-оператора создается база данных, в которой проводятся вычисления для составления индивидуального психофизиологического портрета с описанием времени реакции каждого оператора.

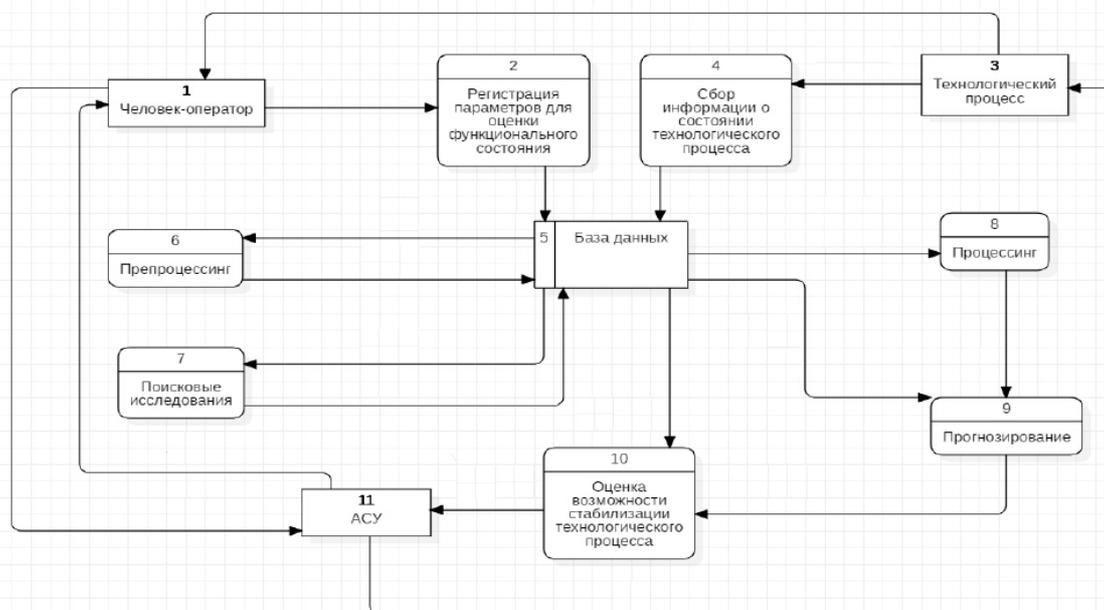


Рисунок – Диаграмма потока данных между элементами разрабатываемой системы повышения аварийной устойчивости

По собранным данным создается программное обеспечение системы принятия решений участия человека в технологическом процессе, формируется модель времени реакции человека в экстренных ситуациях.

Рассмотрев характеристики состояния обобщенного технологического процесса, предлагается следующая диаграмма потока данных.

По имеющейся в базе данных информации осуществляется прогнозирование возможных вариантов, оценка стабилизации технологического процесса в случае экстренной ситуации. Результат анализа поступает к автоматической системе управления, которая непосредственно взаимодействует с человеком-оператором и технологическим процессом.

Данная система позволяет прогнозировать функциональное состояние человека в аварийных ситуациях и таким образом регулировать его действия. В результате внедрения «цифрового здравоохранения» оценивается не только профпригодность, но и снижения вероятности появления аварийной ситуации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Брусенцов С. Г. Роль охраны труда на производстве // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – № 12 (декабрь). – С. 81–85.
2. Пилиневич Л.П., Щербина Н.В., Яшин К.Д. Эргатические системы, учебно—методическое пособие. — Минск: БГУИР, 2015. — 96 с.
3. Лозгачева Т.М., Завалишин Ю.К. Исследование систем управления, учебное пособие. – Н. Новгород: Нижегород. гос. архит.- строит. ун-т, 2004. – 102 с.

УДК66.021:51-74

Магистрант В.В. Биловус; студ. К.В. Киргизова  
Науч. рук. проф. О.В. Карманова  
(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров  
и техносферной безопасности, ВГУИТ)

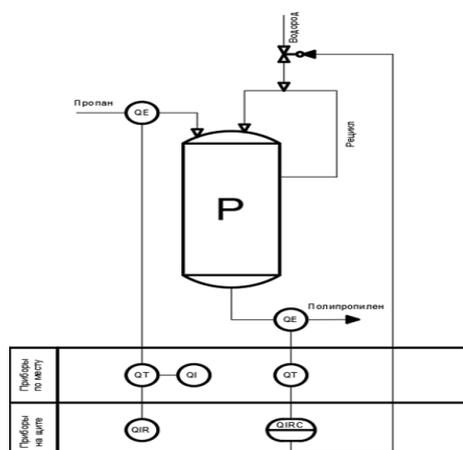
## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССАХ СИНТЕЗА ПОЛИОЛЕФИНОВ**

В настоящее время компания ООО «СИБУР Тобольск» рассматривает различные варианты внедрения цифровых технологий на своих промышленных площадках. Одним из перспективных проектов является оптимизация процессов производства полиэтилена и полипропилена, так как ведущее положение полиолефинов сохранится еще на долгие годы. Это объясняется тем, что комплекс ценных технических свойств, присущих этим термопластам, а также наличие для их производства дешёвого и доступного нефтехимического сырья определяют возможность их широкого применения и получения такого многообразия изделий, какого невозможно достигнуть в других случаях.

Но сегодня производители стремятся не только расширить ассортимент и поставить потребителю продукцию самого высокого качества, но и повысить эффективность производства, ускорив лабораторный анализ или применив online-анализ. Для online- анализа промежуточных продуктов производства и готовой продукции наиболее мощным, быстрым и удобным инструментом является инфракрасная спектроскопия ближней области (БИК-спектроскопия). В отличие от стандартных классических методов анализа БИК-спектроскопия не требует предварительной пробоподготовки образцов, расходов на реактивы и комплектующие, позволяет в несколько раз сократить трудовые и временные затраты. Всего за одно измерение в течение нескольких секунд можно получить результат по всем критическим параметрам качества. Благодаря применению Фурье-преобразования для спектральных методов существенно расширились границы и возможности соответствующих методик.

Поэтому считаем необходимым применить данную методику на ООО «СИБУР Тобольск» в производстве полипропилена. Свежий пропилен вводится на производство полипропилена с производства дегидрирования пропана. Катализатор в смеси с пропиленом, а также смесь сокатализатора – триэтилалюминий (ТЭА) с донором и пропиленом подаются в верхнюю часть первой и второй зоны реактора полимеризации. Реактор представляет собой горизонтальный цилиндрический аппарат с перемешивающим устройством, в котором протекает непрерывный про-

цесс полимеризации пропилена в газовой фазе. Участок полимеризации представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема производственного участка с датчиками контроля**

Порошковый полимер, извлекаемый из реакторов, содержит значительное количество углеводородов, как в виде газа в порах порошкового полимера, так и в растворенном виде. Поэтому необходимо провести распознавание углеводородов.

Для этого рекомендуем установку датчиков систем контроля качества продукции с использованием методов инфракрасной спектроскопии ближней области, т.е. осуществлять непрерывный контроль получаемой продукции. В связи, с чем предложен прибор, который встраивается непосредственно в технологическую линию (рисунок 2).



**Рисунок 2 –Фурье-ИК-спектрометр ближнего ИК диапазонаMatrix-F(BRUKER)**

В основе прибора-оптоволоконная технология, что позволяет проводить анализы на расстоянии при помощи оптоволоконных датчиков, обеспечивающих доступ к труднодоступным точкам измерения, даже когда спектрометр находится, в лаборатории. Всего за одно измерение в течение нескольких секунд можно получить результат по всем критическим параметрам качества. Все качественные и количественные характеристики определяются одновременно.

Для управления спектрометром, регистрации и обработки спектров используется программное обеспечение OPUS («BRUKER»). Регистрируются спектры образцов с известными значениями интересующих параметров. Значения параметров должны быть представлены во всем диапазоне концентраций, которые в дальнейшем могут быть анализированы. На основании этих спектров строятся градуировочные модели. При анализе регистрируется спектр неизвестного образца, сопоставляется с градуировкой и результат, в виде значений концентраций, выводится на экран. Градуировочные модели можно переносить с прибора на прибор, а также объединять с глобальными градуировками, что расширяет рабочий диапазон и предсказательную способность градуировки.

Проверка калибровочной модели осуществляется по тестовым образцам. Для этого все исследованные образцы разделяют на две части - калибровочный набор, спектры, участвующие в построение калибровочной модели и независимый проверочный тестовый набор.

Таким образом, применение предлагаемых технических решений в рамках цифровой трансформации позволит повысить доход, энергоэффективность и производительность производства на площадке СИБУР-Тобольск. Применение системы контроля качества позволяет повысить эффективность производства, снизить вероятность выпуска бракованной продукции, что, в конечном итоге, сократит себестоимость продукции стабильно высокого качества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белокурова, А.П., Агеева Т.А. Химия и технология получения полиолефинов-М.: Иван. гос. хим.-технол. ун-т.- Иваново, 2011.-126 с.
2. Бик-спектроскопия. [Электронный ресурс] // [<https://www.bruker.com/ru/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/ft-nir/matrix-f/technical-details.html>]
3. Артиков А. Компьютерные методы анализа и синтеза химико-технологических систем.— Ташкент: «Voris-nashriyot», 2017. — 160 с.

УДК 66. 678. 05

Студ. А.А. Чвирова., А.Е. Зими́на, М.А. Кулигина

Науч. рук. проф. О.В. Карманова

(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров  
и техносферной безопасности, ВГУИТ)

## ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ НА ВУЛКАНИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛАСТОМЕРОВ

Создание современных эластомерных материалов, удовлетворяющих повышенным эксплуатационным требованиям невозможно без разработки новых подходов к рецептуростроению резиновых смесей и моделированию их свойств. Применении новых вулканизирующих систем включает решение нескольких задач, таких как интенсификация вулканизационных процессов при повышении качества резиновых смесей и вулканизаторов, снижение стоимости резиновых изделий, дефицит и высокая стоимость традиционно используемых вулканизационно - активных соединений [1]. Жирные кислоты и их производные являются традиционными ингредиентами, широко применяемыми в резиновой промышленности. Высшие жирные кислоты фракции C<sub>18</sub> (олеиновая, стеариновая) и их смеси являются высокоэффективными пластификаторами и активаторами вулканизации каучуков.

Целью работы является исследование физико-химических свойств высших карбоновых кислот в составе композиционного активатора вулканизации, их влияние на процессы приготовления и вулканизации резиновых смесей, а также и свойства вулканизаторов. В качестве объектов исследования использовали эластомеры, содержащие композиционные активаторы вулканизации в виде сплавов оксида цинка со смесью жирных кислот (СмЖК) и наполнитель. В таблице 1 представлены результаты исследования композиционных активаторов вулканизации, содержащих смеси жирных кислот в разных соотношениях.

**Таблица 1 - Результаты определения кислотного и бромного числа**

Соотношение компонентов: ZnO:СмЖК:Наполнитель	Кислотное число, мг/КОН г	Бромное число, г Br <sub>2</sub> /100 г
	Бентонит	Бентонит
30:5:65	18,63	15,43
30:10:60	29,91	16,26
30:15:55	32,00	15,66
30:20:50	42,87	14,38
30:25:45	48,17	14,38
30:30:40	60,93	17,33

Установлено, что с увеличением дозировки СМЖК кислотное число возрастает. Значение бромного числа следует учитывать при разработке оптимального состава композиционного активатора вулканизации. Смеси жирных кислот были испытаны в стандартной рецептуре резиновой смеси на основе каучука СКС-30АРК (таблица 2). В качестве контрольного образца был использован технический стеарин. Показано, что состав ненасыщенных жирных кислот не оказывает существенного влияния на вулканизационные характеристики резиновых смесей.

**Таблица 2 - Технологические свойства и вулканизационные характеристики резиновых смесей**

Наименование показателей	Шифры образцов						
	Стандартный	КАВ Б 30 : 5 : 65	КАВ Б 30 : 10 : 60	КАВ Б 30 : 15 : 55	КАВ Б 30 : 20 : 50	КАВ Б 30 : 25 : 45	КАВ Б 30 : 30 : 40
<i>Реометрия Монсанто, 160 °С, 30 мин</i>							
$M_{\min}$ , дН·м	29,0	63,0	47,0	53,0	8,0	35,0	37,5
$M_{\max}$ , дН·м	57,0	84,5	81,0	80,5	39,0	76,0	50,0
$M_{90}$ , дН·м	54,2	82,3	77,6	77,7	35,9	71,9	48,75
$\tau_s$ , МИН	2,75	2,0	2,0	2,25	2,0	2,0	4,0
$\tau_{90}$ , МИН	23,75	24,5	24,3	20,5	24,25	25,02	24,0
$\Delta\tau$ , МИН <sup>-1</sup>	4,76	4,40	4,48	5,48	4,49	4,34	5,0

Таким образом, установлено, что использование новых композиционных активаторов вулканизации, содержащих смесь жирных кислот, обеспечивает требуемую скорость вулканизации. По уровню упругопрочностных свойств опытные образцы соответствуют нормам контроля. Показана возможность уменьшения дозировки оксида цинка при сохранении требуемого уровня вулканизационных и физико-механических показателей формовых резин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карманова О.В. Технологические активные добавки на основе сопутствующих продуктов производства растительного масла // Каучук и резина. 2009. № 5.С. 18-21.
2. Пугачева И.Н., Попова Л.В., Репин П.С., Никулин С. С. Методы ресурсосбережения при работе с отходами пищевой и нефтехимической промышленности. Воронеж: ВГУИТ, 2017.

УДК 557.114:616-006

Студ. А.С. Сосницкая, В.А. Свечникова

Науч. рук. проф. О.В. Карманова

(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров

и техносферной безопасности, ВГУИТ);

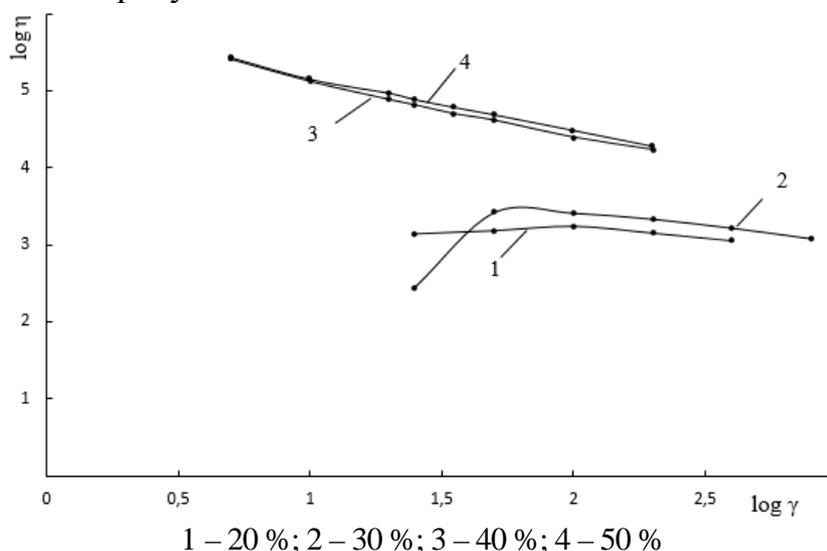
главный инженер А.Ю. Воротягин (ПКФ «Игрушки»)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ ПВХ, СОДЕРЖАЩИХ РАСТИТЕЛЬНЫЕ МАСЛА**

На сегодняшний день широко распространено изготовление эластичных детских игрушек из ПВХ-пластизоля, наполненного карбонатом кальция, методом ротационного формования [1]. Особенностью технологии при получении пластизолой на основе ПВХ является последовательное введение в аппарат смешения, в котором находится пластификатор диоктилфталат (ДОФ) всех компонентов при интенсивном перемешивании. В течение 15-20 минут проходит процесс смешения, под вакуумом удаляются воздух и пары воды. Недостатком применяемой технологии является то, что приготовленный пластизол может использоваться только в течение короткого промежутка времени, так как его вязкостные характеристики очень подвержены температурному влиянию - особенно в летний период наблюдается резкое повышение вязкости, что в свою очередь, отражается на качестве игрушек [2]. Для снижения себестоимости изделий и стабилизации вязкостных характеристик в процессе хранения, возникла необходимость оптимизации состава композиции.

Целью данной работы являлась оценка влияния природных масел, а именно дезодорированного подсолнечного (ДПМ), на реологические свойства ПВХ-пластизолой, наполненных гидрофобизированным мелом. Объектами исследования являлись пластизолы с различным содержанием наполнителя и природных масел, приготовленные в соответствии с технологическим регламентом в условиях ПКФ «Игрушки». Исследования проводились на капиллярном реометре Smart RHEO 1000 и на вискозиметре ВЗ-4. Для улучшения вязкостных показателей был изменен порядок введения компонентов при приготовлении пластизолой. Новый режим приготовления пластизолой обеспечивал обогащение поверхности ПВХ вторичным пластификатором, что снижало предварительное набухание смолы, вследствие чего вязкостные характеристики композиции стабилизировались. Ранее проведенные исследования показали возможность получения наполненных пластизолой с содержанием мела до 40 % масс. [3]. Изменения технологии позволили получить композиции, содержащие до 50 % масс. Были изучены вязкостные свойства пластизолой с различной

степенью наполнения. Значительные изменения вязкостных характеристик были отмечены для 20, 40 и 50 % масс. частей мела. Результаты представлены на рисунке.



**Рисунок - Логарифмическая зависимость вязкости композиций, содержащих 20, 30, 40 и 50 % масс. СаСО<sub>3</sub>, от скорости сдвига**

Установлено, что вязкость пластизолов по мере наполнения постепенно возрастает, а для 40-50 % масс. становится практически одинаковой. Исследование вязкостных характеристик композиций с различным содержанием дезодорированного подсолнечного масла показало, что условная вязкость пластизолов с течением времени практически не изменяется и находится в пределах, допустимых для переработки в изделия по применяемой технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Уилки, Ч. Поливинилхлорид [Текст] / Ч. Уилки, Дж. Саммерс, Ч. Даниелс; пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. – Санкт-Петербург: Профессия, 2007 – 728 с
2. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ. / Под ред. Гроссмана Р. Ф. Пер. с англ. под ред. Гзеева В. В. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 608 с.
3. Эйкхольц, Г. Руководство по ПВХ-пастам [Текст] / Г. Эйк-хольц, Д. О. Мартин. – Москва: Русвинил, 2012 – 100 с.

УДК 66. 678. 05

Магистранты В.И. Ушакова, Б.Ф.Кудревич

Науч. рук. проф. О.В. Карманова

(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров  
и техносферной безопасности, ВГУИТ)

### **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВУЛКАНИЗАТОВ БУТИЛКАУЧУКА**

При воздействии излучений энергии на полимеры протекают процессы, приводящие к изменению их химического состава и свойств. Реакции деструкции преимущественно преобладают в полимерах с четвертичным атомом углерода. Одним из представителей таких полимеров является наполненный вулканизат бутилкаучука [1-2]. Практический интерес представляет разработка подходов к получению новых полимерных материалов с заданными свойствами на основе радиационного регенерата, полученного путем обработки вулканизатов БК ионизирующим излучением, с использованием методов математического моделирования, что позволит подобрать условия облучения вулканизатов БК для получения полимерных материалов с заданными свойствами.

Исследованы свойства вулканизатов бутилкаучука, которые подвергали облучению на установке ускоренных электронов дозами 20-200 кГр, после чего полученные регенераты подвергали термомеханообработке в камере пластикадера Брабендер в течение 15 минут при температурах 100- 140 °С. Пласто-эластические свойства полученных регенератов оценивали по показателю вязкости, который определяли на вискозиметре Муни при температуре 100 °С. Структурные параметры образцов определяли методом равновесного набухания в толуоле. Результаты исследований легли в построения математической модели радиационной деструкции резин на основе бутилкаучука.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Бугаенко Л.Т., Кузьмин М.Г., Полак Л.С. Химия высоких энергий. М.: Химия. 1988. 368 с.
2. Karmanova O.V., Tikhomirov S.G., Kayushnikov S.N., Shashok Zh.S., Polevoy P.S. Obtaining and using of reclaimed butyl rubber with the use of ionizing radiation // Radiation Physics and Chemistry. 2019. V.159. P.154-158.

УДК 66. 678. 05

Магистрант Е.В. Линцова  
 Науч. рук. проф. О.В. Карманова  
 (кафедра технологии органического синтеза, переработки полимеров  
 и техносферной безопасности, ВГУИТ)

### ВЛИЯНИЕ ТИПА МОДИФИКАТОРА НА АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА БРЕКЕРНЫХ РЕЗИН

В настоящее время в резинотехнической промышленности России существует необходимость расширения сырьевой базы в направлении повышения эффективности основных свойств ингредиентов и проявления их полифункционального действия[1]. В этой связи разработка промоторов адгезии отечественного производства и их использование в рецептурах резиновых смесей является актуальной задачей [2].

Разработаны новые опытные кобальтосодержащие промоторы адгезии на основе смеси жирных кислот содержанием кобальта от 7,5 до 16,5 %, выделенных из соапстока производства растительных масел на ОАО «Евдаковский МЖК» (Воронежская область). Изучены свойства бреккерных резиновых смесей, содержащих в своем составе опытные промоторы, определены: пласто-эластические и технологические свойства, вязкость по Муни, определены физико-механические показатели и прочность связи в системе «эластомер-латунь».

В таблице 1 представлены результаты исследования пластичности бреккерных резиновых смесей с опытными промоторами.

**Таблица 1 – Пластико-эластические резиновых смесей на основе каучука  
 СКИ-3 с опытными промоторами адгезии КК**

№	Тип промотора	Содержание, мас. Ч.					
		Пластичность			Эластическое восстановление, мм		
		0,5-КК	1,0-КК	1,5-КК	0,5-КК	1,0-КК	1,5-КК
1	КК-7,5	0,40	0,40	0,42	1,01	1,02	1,02
2	КК-9	0,39	0,39	0,40	0,98	0,98	1,00
3	КК-10,5	0,38	0,37	0,42	1,00	0,98	0,98
4	КК-12;	0,38	0,37	0,37	0,98	0,96	0,94
5	КК-13,5	0,36	0,37	0,39	0,96	0,98	0,90
6	КК-15	0,36	0,35	0,37	0,94	0,96	0,92
7	КК-16,5	0,35	0,36	0,37	0,94	1,04	0,94

Для обеспечения удовлетворительного сочетания когезионных и реологических свойств бреккерных резиновых смесей предпочтительнее использование каучука с исходной пластичностью 0,3-0,4. Анализ данных таблицы 1 показал, что пластичность всех исследуемых эластомерных

композиций лежит в пределах 0,35-0,42, смеси относятся к группе средней пластичности.

Для сравнительного анализа использовали брекеры резиновые смеси с серийно применяемым промотором адгезии - Манобонд 380С. Установлено, что резиновые смеси на основе опытных промоторов адгезии имеют удовлетворительные показатели вязкости, но несколько ниже образцов с серийно используемым промотором (полученные данные представлены на рисунке ниже).



Рисунок – График вязкости резиновых смесей с опытными промоторами

При исследовании физико-механических свойств вулканизатов получены данные, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические показатели композитов на основе каучука СКИ-3 с опытными промоторами адгезии КК

№	Наименование показателей	Шифры образцов						
		КК-7,5	КК-9	КК-10,5	КК-12	КК-13,5	КК-15	КК-16,5
1	$M_{300}$ , МПа	14,8	15,2	16,3	15,9	15,8	15,4	15,1
2	$f_p$ , МПа	17,2	16,9	18,2	17,8	17,4	17,6	16,9
3	$\epsilon$ , %	420	430	420	410	450	450	440
4	$\square$ , %	18	16	18	20	18	18	16

Установлено, что образцы с содержанием промоторов КК от 9-15%  $Co^+$ , обладают удовлетворительными физико-механическими показателями. Основным назначением опытных промоторов КК является обеспечение высокой прочности связи в системе «эластомер-латунь». В таблице 3 представлены данные исследования прочности связи (Н) резиновой смеси, содержащей 1 мас.ч. опытных промоторов адгезии КК с латунированным металлокордом.

Таблица 3 – Результаты исследования прочность связи (Н)

Наименование показателей	Шифры образцов						
	КК-7,5	КК-9	КК-10,5	КК-12	КК-13,5	КК-15	КК-16,5
Прочность связи, Н/м, н.у.	318	324	332	328	324	324	332
Прочность связи, Н/м, 100 °С, 72ч	198	196	210	212	218	202	204

Исследования показали, что использование в брекерных резиновых смесях опытных кобальтсодержащих (9-16,5%) промоторов адгезии обеспечивает удовлетворительный уровень технологических, упруго-прочностных свойств, а также высокую прочность связи резины с латунированным.

### ЛИТЕРАТУРА

1 Осошник И.А., Карманова О.В., Шутилин Ю.Ф. Технология пневматических шин : учеб. Пособие / Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж , 2004 - 508 с.

2 Bourrain P., Petters L., Adhesion properties between cobalt salt-containing rubber compound and steel cord // Chemical Abstracts, 2012, p.134-140.

УДК 628.31

Бакалавр А.А. Девушкина

Науч. рук. доц. Н.Ю. Санникова (кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, ВГУИТ); проф. П.Т. Суханов (кафедра физической и аналитической химии, ВГУИТ)

### **ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ТЕРМООБРАБОТАННОЙ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

Вода очень хороший растворитель, поэтому не всегда жидкость из скважины или из центрального водоснабжения соответствует требуемым показателям качества. Одним из наиболее распространенных физико-химических методов очистки воды является сорбция активированным углем. В данной работе предлагается в качестве сорбента для очистки питьевой воды применять термообработанную рисовую шелуху (ТШР). Это продукт многоступенчатой термической деструкции отходов рисового производства (шелухи), представляющий собой тонкодисперсную бинарную твердую структуру углерод – диоксид кремния. ТШР нетоксичен и эффективно применяется при очистке природных вод от нефти, нефтепродуктов и ряда органических веществ. Благодаря развитой поверхности

и комплексному составу ТШР может применяться для сорбции металлов и органических загрязнителей в домашних условиях.

Для выполнения эксперимента нами выбран кувшинный фильтр с разборным картриджем, который заполнялся ТШР. Перед применением фильтра сорбент промывался дистиллированной водой для удаления мелкой фракции. Через подготовленную фильтрующую систему пропускали воду в объеме 1, 10, 20 литров с различными загрязнителями и их смесью. В воду добавляли производные фенола, хлороформ, а так же соли железа, алюминия, марганца, магния и кальция в количестве, превышающем ПДК в пятикратном размере. Водные пробы анализировали титриметрически, спектрометрически, с применением ИК-спектроскопии.

Установлено, что кремнеуглеродный сорбент ТШР эффективно очищает воду от органических загрязнителей и солей металлов. При этом концентрация загрязнителей в воде после сорбции не превышала и была ниже ПДК, в том числе и после многократного использования.

Это позволяет рекомендовать фильтры с сорбентом на основе ТШР для очистки питьевой воды на длительный срок.

УДК 547.97

Студ. А.М. Шищенко, А.С. Булгаков

Науч. рук. проф. В.М. Болотов (кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, ВГУИТ)

### **ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ АЛКИЛФЛАВОНОИДОВ**

В природе широко распространены полифенольные соединения в виде флавонолов и антоцианов, обладающих антиоксидантными и красящими свойствами, Р-витаминной активностью [1].

Из-за наличия в структуре молекулы углеводных фрагментов природные флавоноиды обладают высокими гидрофильными свойствами и хорошо растворяются в воде и водосодержащих органических растворителях, что ограничивает возможность их применения. Для использования флавоноидов в неполярной среде необходимо увеличить гидрофобные свойства природных полифенолов. Нами предложено увеличить гидрофобные свойства природных флавоноидов реакцией гидролиза гликозидной связи. Образующийся при гидролизе агликон не растворяется в воде, отфильтровывается от реакционной массы и высушивается. Для проведения алкилирования высушенные агликаны флавонола и антоцианидина обрабатываются такими реагентами как изопропиловый и трет-бутиловый спирты в разрабатываемых условиях [2]. Результаты ИК-

исследований подтверждают различную химическую структуру молекул природных гликозидированных флавоноидов, их агликонов и алкилированных производных (рисунки 1–3).

По внешнему виду флавонол–агликон (кверцетин) представляет собой порошок темно-коричневого цвета, хорошо растворимый в ацетоне, изопропиловом спирте, хорошо растворяющийся в низших спиртах, сложных эфирах уксусной кислоты, плохо растворяется в ароматических углеводородах (растворимость изучалась измерением оптической плотности растворов флавоноидов с использованием фотоколориметра КФК–2).

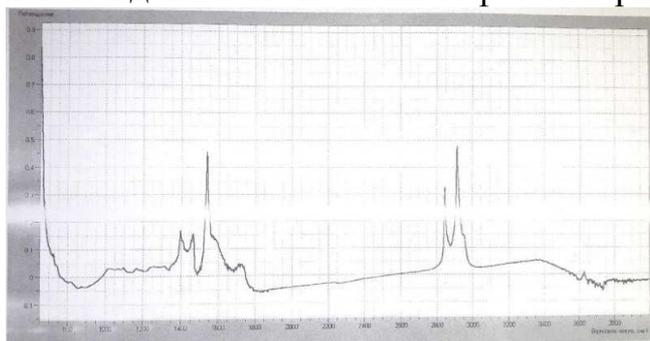


Рисунок 1– ИК-спектр флавонол–3–гликозида

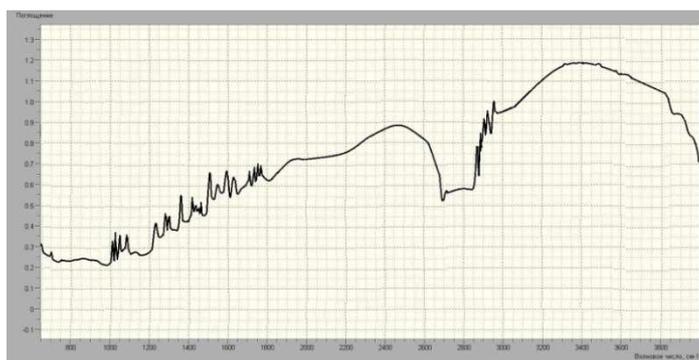


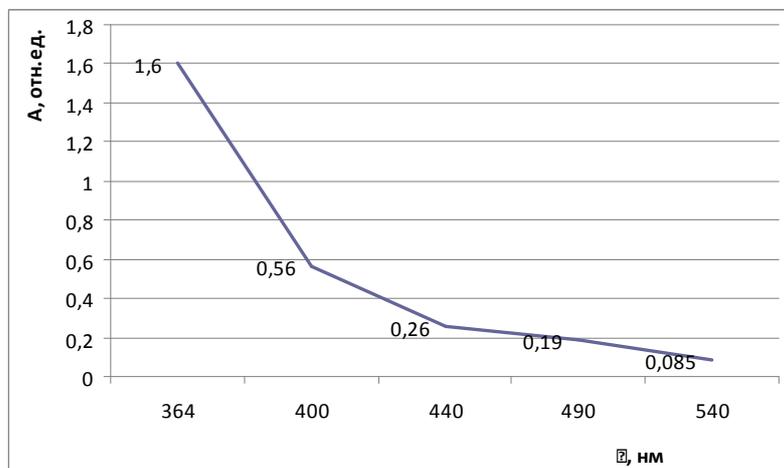
Рисунок 2 – ИК-спектр флавонол–агликона



Рисунок 3 – ИК-спектр трет–бутилфлавонола

Алкилфлавоноиды представляют собой порошки темно-коричневого цвета, не растворимые в воде, растворяются в изопропило-

вом спирте, изоамилацетате, ацетоне (пример см. рисунок 4). Изопропил- и трет-бутилантоцианидины растворяются в этаноле, изопропиловом и трет-бутиловом спиртах, ацетоне, плохо растворяется в бензоле, толуоле и ксилоле.



**Рисунок 4 – Спектральная характеристика раствора трет-бутилфлавонола в изопропиловом спирте**

Полученные агликоны флавоноидов и алкилпроизводные обладают антиоксидантной активностью и могут использоваться в качестве антиоксидантов синтетических полимерных материалов медицинского назначения.

#### Выводы

1. Разработаны способы получения агликон-флавоноидов и их алкилированных производных.
2. Изучены основные физико-химические свойства агликон-флавоноидов и алкилфлавоноидов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов В.М. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение [Текст]/ В.М.Болотов, А.П.Нечаев, Л.А.Сарафанова. – Спб.: ГИОРД, 2008. –240 с.
2. В.М.Болотов, Е.Г.Горина, А.С.Мелентьева. Разработка технологии алкилирования гидрохинона алифатическими спиртами // Вестник ВГУИТ. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. № 4 (74). – С. 181–184.

УДК 547.97

Студ. И.Н. Воронцов, А.Р. Несмеянова, Т.А. Гадомская  
Науч. рук.: проф. В.М. Болотов; доц. Е.В. Комарова; доц. П.Н. Саввин  
(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров  
и техносферной безопасности, ВГУИТ)

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ САХАРНЫХ КОЛЕРОВ**

В настоящее время для получения качественных продуктов питания производитель применяет натуральные пищевые красители.

Из натуральных пищевых красителей для окраски продуктов питания в желтый цвет используют каротиноидные соединения (Е160), флавоноиды, куркумины (Е 100), рибофлавины (Е 101), в желтый и коричневый цвета различной интенсивности и оттенков – сахарный колер (Е150) [1].

В производственных условиях карамельные колеры получают без или с использованием катализаторов, ускоряющих реакции в сахарном сиропе. В качестве катализаторов применяются кислоты, щелочи и соли пищевого назначения.

Для приготовления сахарного колера в стакан из нержавеющей стали засыпали 100 г сахара, добавляли 2 мл воды (2 % от массы сахара) и нагревали при непрерывном перемешивании механической мешалкой на электроплитке при обертывании стакана асбестовым одеялом. Температуру сахара контролировали ртутным термометром, находящимся в реакционной массе.

Нагревание проводили до появления коричневого цвета в реакционной массе при температуре 165 – 170 °С и вспучивания раствора.

После этого в реакционную массу добавляли 50 мл горячей воды (с температурой 70 °С) и вязкий раствор продолжали нагревать при температуре 180 °С. При достижении положительной пробы на наличие достаточного количества красящих веществ (стеклянная палочка, опущенная в реакционную массу покрывалась коричневой пленкой, застывающей на воздухе) нагревание прекращали и получали вязкий раствор темно-коричневого цвета. Сахарный колер из глюкозо-фруктозного сиропа готовили аналогично получению колера из сахара, с учетом имеющейся воды в составе сиропа. Содержание красящих веществ определяли измерением поглощения света при различных длинах волн на фотокolorиметре КФК-2. Определение массовой доли сухих веществ проводили на рефрактометре ИРФ-454Б2М или гравиметрическим методом (путем высушивания навески колера до постоянной массы по стандартной методике).

Плотность концентрата водного раствора сахарного колера определяли с помощью пикнометра по стандартной методике.

Спектральные характеристики растворов колера изучали, записывая спектры поглощения пигментов на спектрофотометре СФ-56 (ЛОМО, Россия) в кварцевых кюветах с толщиной оптического слоя 10 мм. Концентрацию колера в растворе подбирали таким образом, чтобы при максимальном поглощении величина абсорбции света находилась в пределах 0,2 – 1,5. Цветовые характеристики окраски исследуемых образцов определяли сканерометрическим методом с использованием планшетного сканера HP ScanJet 3570 C с применением компьютерной обработки изображений в цветовом режиме RGB [2].

В таблице представлены основные показатели полученного по описанной методике сахарного колера Е 150а из сахара и глюкозо-фруктозного сиропа.

**Таблица – Основные физико-химические показатели полученного сахарного колера Е150а**

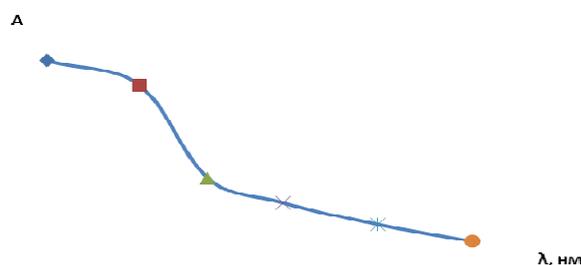
№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя	
		из сахара	из глюкозо-фруктозного сиропа
1	Внешний вид и цвет	Вязкая темно-коричневая жидкость	Вязкая коричневая жидкость
2	Запах	Запах жженого сахара	Запах жженого сахара
3	Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	1,16 (норма 1,25 - 1,35)	1,38 (норма 1,25 - 1,35)
4	Массовая доля сухих веществ, % а – рефрактометрический метод б – весовой метод	(норма 60,0 – 70,0)	(норма 60,0 – 70,0)
		50	–
		53	76,6
5	Оптическая плотность при длине волны 400 нм в кювете шириной 10 мм водного раствора 0,2 г колера в 250 мл воды	0,50 (норма 0,35 – 0,40)	0,06 (норма 0,35 – 0,40)

Спектральные характеристики концентрата сахарного колера Е150а изучены на КФК-2 и некоторые из них представлены на рисунке.

Анализ спектральных характеристик сахарного колера Е150а показывает, что пигменты красителя не являются стабильными соединениями и при хранении через 28 суток расщепляются с уменьшением концентрации красящих соединений (интенсивность поглощения А при  $\lambda=400$  нм).

Анализ электронных спектров показал, что максимум светопоглощения для растворов колера сахарного Е150а и ГФС Е150а

находится при длине волны 282-283 нм, а колера E150d в области 273-274 нм.



**Рисунок – Спектральная характеристика исходного водного раствора сахарного колера E150a (2) (разбавление исходного раствора в 400 раз) через 7 дней после приготовления красителя (КФК-2, l = 1 мм)**

Выводы:

1. Определены условия получения простого сахарного колера E150a из сахара белого свекловичного кристаллического и глюкозо-фруктозного сиропа и получены в лабораторных условиях опытные партии сахарных колеров.

2. Изучены основные физические показатели простых сахарных колеров E150a на основе сахара и глюкозо-фруктозного сиропа и показано присутствие большего количества красящих соединений в сахарном колере, полученном на основе сахара.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов, В. М. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение [Текст] / В. М. Болотов, А. П. Нечаев, Л. А. Сарафанова. – СПб. : ГИОРД, 2008. – 240 с.

2. Байдичева, О.В. Цветометрия – новый метод контроля качества пищевой продукции / О.В. Байдичева, В.В. Хрипушин, Л.В. Рудакова, О.Б. Рудаков // Пищевая промышленность. 2008, № 5. – С. 20-22.

УДК 678                      Студ. А.С. Щеглова, А.В. Тёлушкина, Д.В. Кондратьев  
Науч. рук. ассист. А.С. Москалев  
(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров  
и техносферной безопасности, ВГУИТ)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ВУЛКАНИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА НАБУХАЮЩИХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

Благодаря небольшой удельной плотности, высокой прочности и износостойкости, декоративности, устойчивости к агрессивным средам и

другим ценным свойствам полимерные материалы и изделия на их основе нашли широкое применение в различных областях строительства.

Гидроизоляции подвергают в основном заглубленные в грунт части зданий и сооружений, на которые воздействуют влажная среда грунтовых вод или атмосферных осадков (фундаменты, подвалы, ёмкости и др.). Поэтому надежная изоляция таких элементов зданий и сооружений, соприкасающихся с влажной средой, является важной задачей как при проектировании, так и при возведении строительных объектов [1-2].

В последние десятилетия для гидроизоляции стали применять водонабухающие шнуры, ленты и герметики. Вода, проникающая в неплотности шва, приводит к набуханию материала, заполняющего зону фильтрации, что останавливает протечку. Степень набухания материалов различной природы и состава составляет от 100 до 600 %. Полимеры на основе акриламида являются наиболее перспективными в качестве добавок, обеспечивающих необходимое набухание в воде эластомерных гидроизоляционных материалов [3-4].

Целью исследований явилась разработка эластомерных вулканизированных гидроизоляционных композиций (ВЭК) на основе полиакриламида, подбор оптимальных параметров вулканизации ВЭК и изучение их свойств.

Разработаны составы набухающих эластомерных композиций на основе бутадиен-стирольного каучука марки СКС-30АРКМ-15 и полиакриламида (ПА). Выбранный каучук обладает хорошим комплексом физико-механических и технологических свойств, имеет низкую стоимость. Содержание водонабухающей добавки варьировали от 50 до 80 мас.ч на 100 мас. ч каучука. В рецепт композиции так же входили: наполнитель – 20 мас.ч., магнител 3-5 мас.ч. (в зависимости от содержания водонабухающей добавки на основе ПА) и вулканизирующая группа. Изготовление композиций проводили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 с фрикцией 1:1,14 при температуре  $60 \pm 5$  °С. При создании водонабухающих материалов важно обеспечить сохранение целостности уплотнителя во время всего срока эксплуатации. Одним из технологических приемов является вулканизация каучуковой матрицы. Однако, следует учитывать, что сшивание способствует снижению способности к набуханию эластомерной композиции, наполненной водонабухающими компонентами [5].

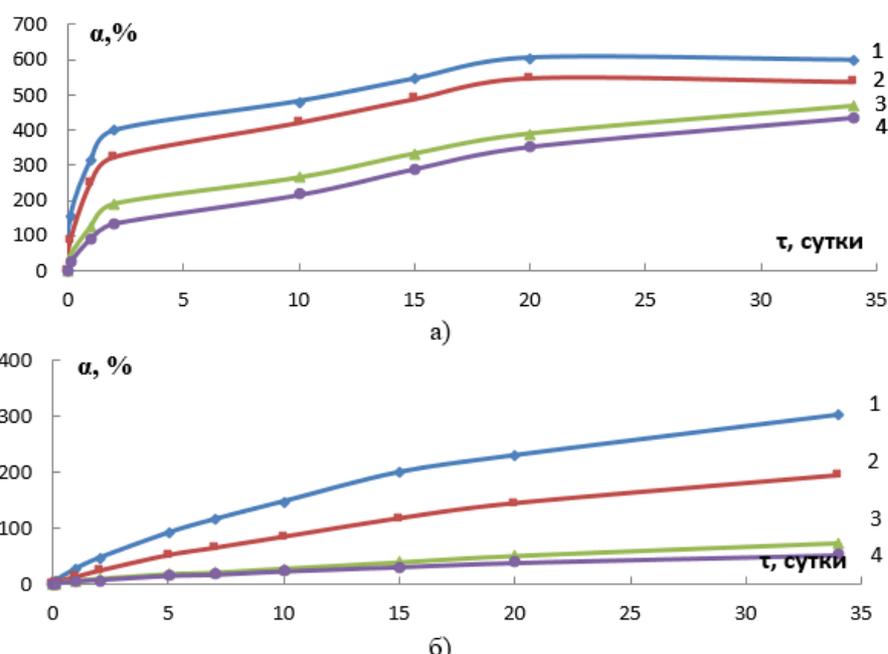
Были оценены вулканизационные характеристики полученных композиций с помощью Реометра Monsanto 100S.

Установлено, что степень наполнения ПА незначительно влияет на вулканизационные свойства. В среднем оптимальное время вулканизации составило 5 мин при температуре вулканизации 145 °С.

На основании ранее полученных данных, зная, что образцы полученные при оптимальном режиме вулканизации будут обладать низкой водопоглощающей способностью из-за высокой степени сшивки, были выбраны режимы 120 °С в 3 и 5 минут. Получали образцы в виде шайб диаметром 50 мм и толщиной 6 мм компрессионным формованием при давлении 20МПа. Далее помещали их в водопроводную воду и измеряли степень набухания через изменение массы в течение 34 суток.

Кинетика набухания полученных ВЭК с различным содержанием полиакриламида представлена на рисунке.

Как видно из полученных данных, ВЭК вулканизованные в течение 3 минут обладают значительно более высокой степенью набухания в сравнении с образцами, вулканизованными 5 минут, при сохранении целостности образцов.



Режимы вулканизации: а) 120 °С, 3 мин; б) 120°С, 5 мин

**Рисунок - Кинетика набухания ВЭК с содержанием ПА (мас. ч.):  
1-80 ПА, 2- 70 ПАА, 3- 60 ПА, 50 ПА**

Отмечено, что с увеличением содержания ПА увеличивается и степень набухания. При содержании ПА в 80 мас.ч. достигается максимальная степень набухания в 605%, что является высоким показателем для материалов подобного назначения.

Таким образом, разработаны водонабухающие эластомерные композиции (ВЭК) с высокой степенью набухания до 600 %; изучено влияние содержания водонабухающей добавки на основе полиакриламида (ПА) на способность водопоглощения эластомерных

композиций; подобраны и обоснованы режимы вулканизации, позволяющие получать ВЭК с необходимыми эксплуатационными свойствами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сокова С.Д. Применение инновационных технологий при ремонте зданий: монография. Москва: МГСУ, 2011, -364 с.
2. Полимеры в строительстве: Учеб. пособие для вузов/ С.А. Мальбиев, В.К Горшков, П. Б. Разговоров. – М.: Высш. шк., 2008. – 456 с.: ил.
3. Патент 26411262 RUS. Гидрофильные полимеры с обращенной фазой и их применение в набухающих в воде эластомерных композициях. Баттерс М. П., Скиннер М., Лонер Б., Бигджин А.
4. Евсикова О.В., Стародубуев С.Г., Хохлов А.Р. Синтез, набухание и адсорбционные свойства композитов на основе полиакриламидного геля и бентонита натрия. Высокомолекулярные соединения. Сер.А, Т. 44, №5, 2002, с. 802-808.
5. Осошник И.А., Шутилин Ю.Ф., Карманова О.В. Производство резиновых технических изделий. ВГТА, Воронеж, 2007, 972 с.

УДК 547.979.8

Студ. А.Ю. Старченко;  
магистранты А.В. Максименко, С.В. Грезев  
Науч. рук. доц. Е.В. Комарова  
(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров  
и техноферной безопасности, ВГУИТ)

#### **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СМЕСЕВЫХ ЭКСТРАКТОВ БАВ**

С целью расширения цветовой палитры природных пищевых красителей нами проводятся исследования по разработке способов получения композиционных (смесевых) каротиноидно-антоциановых колорантов [2]. В настоящее время для получения качественных продуктов питания преимущественно применяют натуральные пищевые красители.

В России для окраски напитков и ликеро-водочных изделий используют такие спирто-водорастворимые красители как антоцианы – Е163 (красный цвет), экстракт аннато – Е160b (желтый цвет), сахарный (карамельный) колер различных способов приготовления – Е150a – Е150c (желто-коричневые цвета).

Следует отметить, что большинство каротиноидных красителей ( $\beta$ -каротин – Е160a,  $\beta$ -апокаротиналь – Е160e, флавоксантин – Е161a, лю-

теин – E161b и другие) содержат в своем составе гидрофобные каротиноидные соединения и не растворяются в воде и водно-спиртовых растворах, а водорастворимые формы этих красителей изготавливаются только в присутствии диспергаторов или эмульгаторов (например, твин-80) [1].

Антоциановые и  $\beta$ -каротинсодержащие красители содержат в своем составе биологически активные полифенолы (антоцианы) и  $\beta$ -каротин и обладают не только биологической, но и антиоксидантной активностью.

Разработанные нами способы получения спирто-водорастворимых каротиноидных красителей из отечественного  $\beta$ -каротинсодержащего растительного сырья (корнеплодов красной моркови посевной *Daucus sativus* Roehl, плодов тыквы *Cucurbita pepo* L.) позволяют получать композиционные красители из гидрофилизированных каротиноидов и водорастворимых красящих соединений [1].

Композиционный колорант получали трехкратным экстрагированием антоцианов и каротиноидов этиловым спиртом с объемной долей этанола 95,5 % из смеси выжимок ягод винограда (АЦ) и плодов тыквы (КР) в весовых соотношениях 1:1, 1:2 и 1:3 при температуре 60°C в течение 60 мин. Экстракты смесей пигментов объединяли и концентрировали путем отгонки растворителя под вакуумом до содержания сухих веществ 60%.

Спектральные характеристики экстрактов красителей и окрашенных ликеро-водочных изделиях исследовали на спектрофотометре UV Mini –1240 фирмы «Shimadzu».

Цветометрические характеристики красителей и окрашенных ликеро-водочных изделий измеряли с использованием компьютера и планшетного сканера по разработанной методике [3]. Получаемые изображения подвергали компьютерной обработке в цветовых режимах RGB и Irgb.

При оценке цветометрических характеристик окрашенных растворов считали, что в RGB-системе цвет является триплетом из соответствующих значений цветовых компонентов. Значение каждого компонента измеряется от 0 до 255 условных единиц. При этом модельный белый цвет оценивали как  $CW = 255 \cdot R + 255 \cdot G + 255 \cdot B$ , модельный красный цвет  $CR = 255 \cdot R + 0 \cdot G + 0 \cdot B$ , модельный желтый  $CY = 255 \cdot R + 255 \cdot G + 0 \cdot B$  [3].

Интенсивность и нормированные показатели цвета растворов в Irgb-системе оценивали соотношениями:

$$\text{Интенсивность } I = (R+G+B)/3;$$

$$\text{Нормированный красный } r = R/(R+G+B);$$

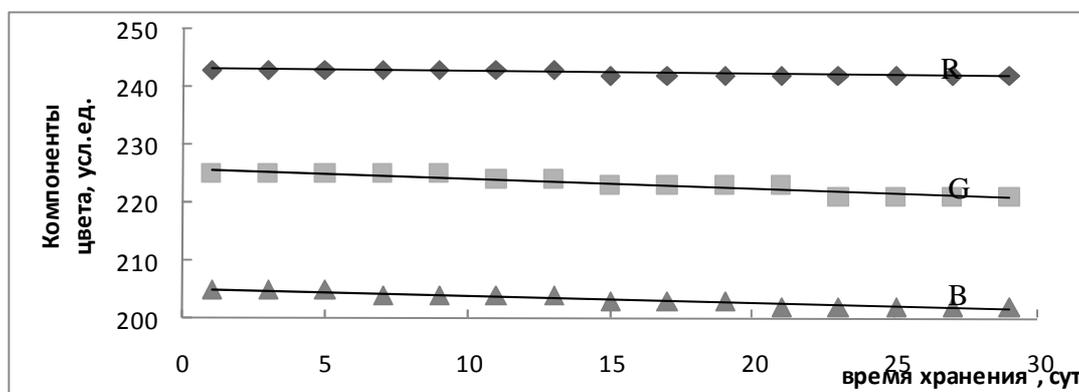
$$\text{Нормированный зеленый } g = G/(R+G+B) .$$

$$\text{Нормированный синий } b = B/(R+G+B) .$$

Изучение RGB-характеристик этанольных экстрактов композиционных каротиноидно-антоциановых красителей следует, что цветовые характеристики зависят от химической структуры и соотношения пигментов в сырье [3].

С увеличением содержания каротиноидов в сырье увеличиваются значения R и G параметров этанольных экстрактов (рисунок 1) и интенсивность цвета I экстракта. Увеличение концентрации каротиноидов в растворе увеличивает долю желтого цвета и уменьшает интенсивность красной окраски.

Полученные цветометрические характеристики позволяют количественно оценивать цветовые оттенки природных каротиноидных и антоциановых красителей.



**Рисунок 1 – Изменения цветометрических RGB-характеристик этанольных экстрактов каротиноидно-антоциановых красителей из смесового каротиноид (КР) – и антоциансодержащего (АЦ) сырья при различном весовом соотношении**

Увеличением содержания гидрофилизированных каротиноидов можно получать красители желтого цвета с красноватым оттенком, более высокая концентрация антоциановых соединений придает красителю красный цвет с желтоватым оттенком. Анализ эффективности выхода красителя от соотношения объема экстрагента к массе композиционного сырья показывает, что наиболее целесообразно использовать соотношение этанол (с объемной долей спирта 95,5 %) к сырью 4:1.

Изучение сохранности окраски этанольных экстрактов композиционных каротиноидно-антоциановых красителей в течение 30 суток показывает увеличение интенсивности окраски растворов пигментов при соотношении АЦ:КР=1:2, так и при соотношении 1:3. Увеличение общей интенсивности окраски, уменьшение доли красного и увеличение доли

желтого цвета происходит за счет превращения красных антоцианов в жёлтые халконы [1].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов В. М., Нечаев А. П., Сарафанова Л. А. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение. – СПб.: ГИОРД, 2008. – 240 с.

2. Патент № 2516637 (РФ). Способ получения натурального смешанного каротиноидно-антоцианового красителя /В. М. Болотов, Е. С. Шишкина, Е. В. Комарова, П. Н. Саввин // БИ.2014. №14.

3. В.М. Болотов, Е. В. Комарова, Е.С. Филатова, В.В. Хрипушин. Цветометрические характеристики композиционных каротиноидно-антоциановых экстрактов растительного сырья. Химия растительного сырья, 2016 - № 1. - С. 127-134.

УДК 66.063.612

Студ. К.С. Игнатова

Науч. рук. доц. П.Н. Саввин

(кафедра технологии органических соединений,  
переработки полимеров и техносферной  
безопасности, ВГУИТ)

#### **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОНОГЛИЦЕРИДОВ В ТЕХНОЛОГИИ КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

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. Моноглицериды жирных кислот в косметических средствах возможно использовать как увлажняющий компонент. Нами были использованы эмульгаторы моноглицериды жирных кислот пальмового и подсолнечного масел.

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". Крем – косметическое средство для ухода за кожей лица или других частей тела (тело, руки, ноги). В виде эмульсии типа масло в воде или вода в масле. Кожа рук постоянно подвергается воздействию окружающей среды, поэтому крайне важно ухаживать за ней с помощью крема.

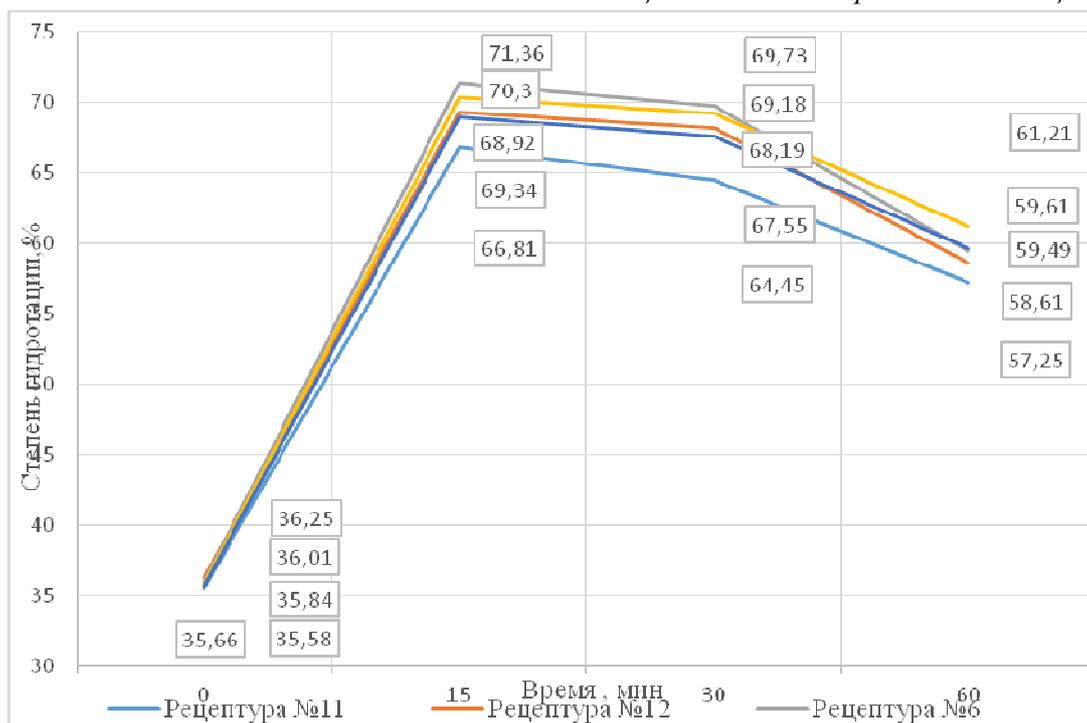
Для оценки эмульгирующих и ухаживающих свойств тестируемые эмульгаторы были введены в состав разработанной рецептуры крема для рук. При выборе типа эмульсии ключевым показателем являлся гидрофильно-липофильный баланс, который лежит в пределах 3,5 – 4. Моноглицериды жирных кислот образуют эмульсии типа «вода в масле». При изготовлении крема по исследуемым рецептурам наблюдалось расслоение системы. Для продолжения тестирования потребительских свойств разработанных эмульгаторов в рецептуру крема был введен коммерческий комплекс эмульгаторов для получения стабильной эмульсии - цетеарил оливат, сорбитан оливат. Натуральный растительный эмульгатор из оливкового масла позволяет получать стабильные эмульсии в широком диапазоне рН.

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

**Таблица – Физико-химические показатели качества образцов крема**

Наименование	Аппарат	Требования	Показатель			
			№1	№2	№3	№4
рН	И-160МИ	5,0-9,0	6,2	6,2	6,1	6,2
Массовая доля воды и летучих веществ, %	Влагомер	5,0-98,0	-	-	79	78
Коллоидная стабильность	Центрифуга СМ-12	Стабилен	Нет	Нет	Да	Да
Термостабильность	Термостат	Стабилен	Нет	Нет	Да	Да

Разработанные образцы моноглицеридов жирных кислот представляют собой пастообразную консистенцию, кремового цвета без запаха. Коммерческие аналоги представлены в виде кремового порошка с нейтральным запахом.



**Рисунок - Степень гидратации кожи при использовании крема для рук с вводом тестируемых эмульгаторов ВКМГ №1 и ВКМГ №2, коммерческих эмульгаторов №1 и №2 и рецептуры сравнения**

Тестируемые образцы эмульгирующих систем имеют пастообразную консистенцию коричнево-серого цвета со специфическим растительным запахом. Коммерческий образец представляет собой вязкую жидкость, коричневого цвета с легким специфическим запахом. При использовании разработанных образцов в качестве эмульгирующего компонента в составе крема (первого и второго рода) образуются не стабильные эмульсии. Аналогичные свойства проявляют их коммерческие аналоги.

Было оценено влияние наличия эмульгатора и его процентное содержание в рецептуре на степень гидратации кожного покрова. По результатам тестирования после использования крема с исследуемыми эмульгаторами степень гидратации кожи имеет значения выше. Восстановление естественного увлажнения происходит стремительнее. Замечено, что наибольший эффект наблюдается с вводом эмульгатора моноглицеридов жирных кислот пальмового масла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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. – 269с.

2. 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. – 217с.

3. Агаджанян, А. Н. Физиология человека // Агаджанян А.Н., Тель.А.З. М.: 2001. — 526 с.

4. Децина А.Н. Теория мягких косметологических воздействий. Современная косметология // Децина А.Н. Новосибирск: 2001. – 505 с.

УДК 547.973

Студ. В.К. Трубицына

Науч. рук. доц. П.Н. Саввин

(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техноферной безопасности, ВГУИТ)

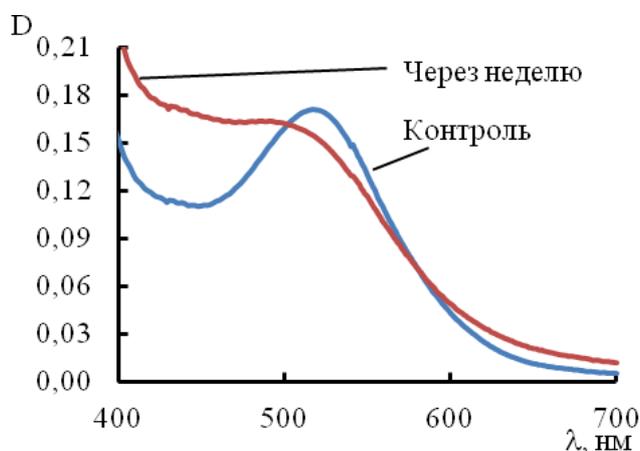
### **ЭКСТРАКТЫ АНТОЦИАНОВ КАК КОМПЛЕКСНАЯ ДОБАВКА В МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

При работе с натуральными растительными экстрактами значительное внимание уделяют не только технологическим показателям качества (органолептическим, физико-химическим), но и особенностям поведения экстрактов в различных средах. Экстракт черники получали бескислотным извлечением антоциановых пигментов этанолом с последующим концентрированием путем отгонки растворителя при атмосферном давлении.

Изучение метрологических характеристик показало, что расчетный минимальный предел определения составляет  $0,009 \text{ г/дм}^3$ . Однако уже при концентрации менее  $0,25 \text{ г/дм}^3$  исчезает пик, характеризующий антоциановые пигменты, что затрудняет определение. При концентрации более  $3,2 \text{ г/дм}^3$  прибор теряет чувствительность, что делает определение более концентрированных растворов невозможными. Чувствительность в пересчете на цианидин-3-глюкозид –  $150 \text{ дм}^3/\text{моль}$ . Относительное стандартное отклонение не превышает  $0,055$ . Спектры поглощения водных растворов концентрата спиртового экстракта черники приведены на рисунке 1.

Анализ стабильности водных растворов концентрата спиртового экстракта черники показал, что на всем исследуемом диапазоне изменение оптической плотности в течение недели хранения не превышает погрешности измерения. Для растворов с концентрацией  $0,5$  и  $1,0 \text{ г/дм}^3$  на-

блюдается исчезновение пика в области 519 нм, что свидетельствует о невысокой стабильности этих растворов.



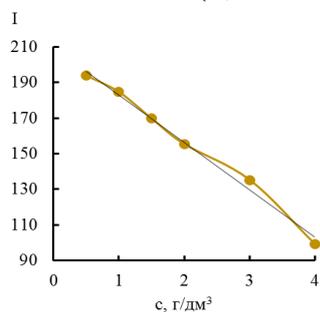
**Рисунок 1 – Спектральные характеристики экстракта черники**

Положение максимума светопоглощения остальных растворов не изменяется. Кроме того в ходе хранения наблюдается рост оптической плотности в ультрафиолетовой области, что может быть вызвано незначительным снижением доли красной катионной формы и образованием бесцветной карбинольной формы с максимумом поглощения в области 350-370 нм. Изучение метрологических характеристик показало, что расчетный минимальный предел определения содержания концентрата экстракта антоцианов в растворе составляет 0,06 г/дм<sup>3</sup>. Чувствительность в пересчете на цианидин-3-глюкозид – 3970 дм<sup>3</sup>/моль. Погрешность измерения на всем исследуемом диапазоне концентраций не превышает 5 %, что соответствует изменения величины нормированного красного не более 2 %. Зависимость величины цветových компонент от концентрации водных растворов концентрата спиртового экстракта черники представлена на рисунке 2-3.

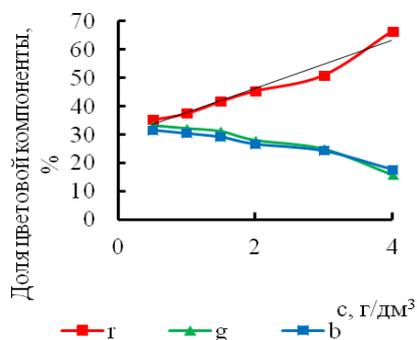
Показано, что с ростом концентрации растворов интенсивность их окраски линейно снижается, а доля красной компоненты линейно возрастает. Через неделю хранения в прохладном темном месте изменение интенсивности окраски и доли красного цвета не превысило величины погрешности измерения, что свидетельствует о достаточно высокой стабильности окраски в данных условиях хранения.

Антоцианы, как и все полифенольные соединения, проявляют антиоксидантные свойства. Было проанализировано изменение суммарной антиоксидантной активности водных растворов с различным содержанием концентрата спиртового экстракта черники в процессе хранения. Для изучения показателя был использован метод электрохимического окисле-

ния растворов анализируемых веществ с амперометрическим детектированием. Суммарная антиоксидантная активность концентрата экстракта черники составляет  $(4,72 \pm 0,14)$  мг/г (стандарт - кверцетин).



**Рисунок 2 – Зависимость нормированного цвета от количества концентрата экстракта черники в растворе**



**Рисунок 3 – Зависимость интенсивности окраски от количества концентрата экстракта черники в растворе**

Антоцианы черники обладают высокой стабильностью, их антиоксидантная активность во много раз превосходит аналогичный параметр для витамина С и многих других известных антиоксидантов. Поэтому применение экстракта в технологии кисломолочных продуктов позволит не только придать им соответствующую наименованию колоранта красно-фиолетовую окраску, но и обогатить продукт природными антиоксидантами. Кроме того, антоцианы обладают противомикробным действием. Все это в совокупности должно положительно сказаться на хранимоспособности готового изделия.

Таким образом, натуральность и комплексность действия данной биодобавки делают ее использование перспективным. Применение в качестве сырьевого источника местного сырья, обладающего усвояемыми нутриентами, наиболее целесообразно.

#### 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. Харламова О. А. Натуральные пищевые красители / О. А. Харламова, Б. В. Кафка. – М.: Наука, 1989. – 191 с.
3. Патент 228344 РФ, МПК 7С 09 В 61/00 Способ получения антоцианового красителя из плодового сырья / А. П. Один, А. Д. Хайрутдинова, В. М. Болотов. ; заявитель и патентообладатель Воронеж, гос. технол. акад. - № 2002131129 ; заяв. 19.11.2002 ; опубл. 10. 05.2004, Бюл. № 13.

УДК 547.973

Студ. А.Г. Журавлева

Науч. рук. доц. П.Н. Саввин

(кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров  
и техносферной безопасности, ВГУИТ)

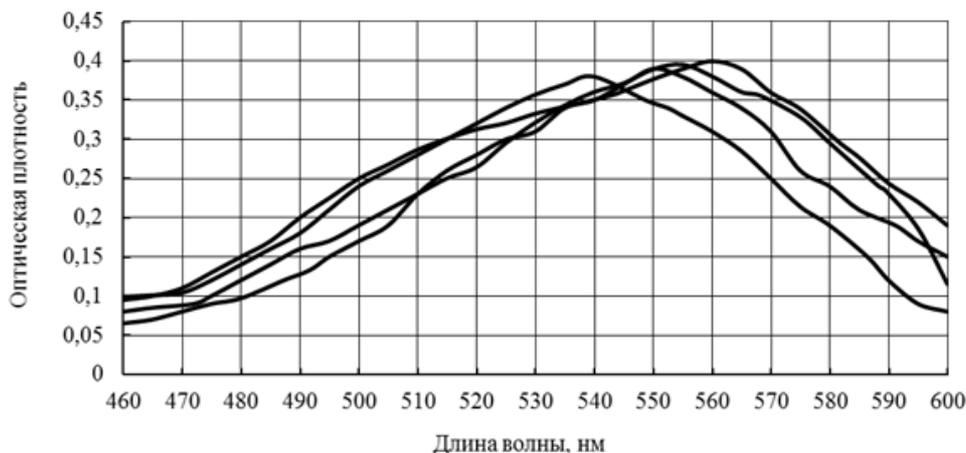
## **ВЫДЕЛЕНИЕ ПИГМЕНТОВ КАРКАДЭ ПОЛЯРНЫМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ**

Соотношение различных форм антоцианов, а, следовательно, и цвет, в растворе меняется в зависимости от температуры, кислотности раствора, природы растворителя, структуры антоциана, наличия в растворе некоторых органических и неорганических соединений. Наиболее значительное влияние оказывает рН среды. В кислых растворах антоцианы образуют соли, в которых носителем красной окраски является ароматическая структура – катион флавилия. Катион флавилия, а значит и красная окраска, устойчив до рН=3. В интервале рН от 3 до 5 интенсивность красной окраски резко уменьшается, из-за образования бесцветной псевдоформы. При рН больше 5 стабильна ангидроформа. При рН выше 8 антоцианы имеют синюю окраску, а при рН > 10 - зеленую, вследствие образования частично ионизированных и полностью ионизированных ангидроформ. При более высоких значениях рН устойчив халкон, имеющий желтую окраску.

В соответствии с теорией строения органических соединений стабильность карбкатиона флавилия и его гликозидных форм зависит и от степени сольватации молекулами растворителя. Вода, как наиболее полярный растворитель, способствует преобладанию катионной и гидратной формы антоцианов, а при использовании менее полярных спиртов равновесие смещается в сторону ангидроформы

Получение антоцианового красителя было осуществлено следующим образом: сухое сырье (цветки *Hibiscus Sabdariffa* L. измельчали и проводили экстрагирование этиловым спиртом (96 % об.) из расчета 500 мл спирта на 100 г сырья. При получении красителя из цветочного сырья соцветия обрабатывали последовательно тремя порциями экстрагента при температуре 50 – 60 °С в течение 1 – 1,5 часа.

В связи с тем, что антоциановый состав растения *Hibiscus Sabdariffa* L. недостаточно изучен, были исследованы спектры растворов его пигментов в различных спиртах. Для первых четырех членов гомологического ряда спиртов получены следующие максимумы поглощения ( $\lambda_{\max}$ ): метанол (540 нм), этанол (550 нм), изопропанол (556 нм), бутнол (558 нм).



**Рисунок - Электронные спектры поглощения растворов красителей из *Hibiscus Sabdariffa L.* в спиртах**

Анализируя полученные результаты, необходимо отметить, что значения  $\lambda_{\text{max}}$  для спиртовых растворов красителя находятся в соответствии с таковыми для спектров поглощения гликозидов дельфинидина, что позволяет предположить, что данный представитель антоцианидинов преобладает в красящем пигменте *Hibiscus Sabdariffa L.*

Как известно, цвет пищевых красителей зависит от способа извлечения и может изменяться при хранении. Поэтому весьма важным является процесс контроля цвета экстрактов антоциановых красителей. В соответствии с этим были изучены зависимости численных характеристик окраски экстрактов антоциановых красителей на примере *Hibiscus Sabdariffa L.* от кислотности раствора и длительности хранения экстракта в цветовом режиме RGB.

Оттенки, интенсивность и стабильность окраски антоциановых красителей чрезвычайно чувствительны к рН среды, в связи с этим актуальной является задача количественной оценки влияния кислотности среды на параметры окраски выбранного красителя, применяемого в пищевой промышленности.

В работе исследовали образцы растворов каркаде различной кислотности в диапазоне рН=1,0 – 9,0. В зависимости от кислотности раствора антоцианы изменяли свой цвет от красного (кислая среда) до желто-зеленого (щелочная среда). При анализе цветности красителя исходили из того, что модельная красная окраска соответствует следующим параметрам R=255 усл. ед., G=0 усл. ед., B=0 усл. ед. В таблице приведены данные для 7 образцов свежеприготовленного красителя в 0,5 н растворе HCl (рН=1,0) и различных буферных растворах, а также параметры окраски образцов через 30 суток хранения. Из полученных результатов следует,

что красные оттенки красителя сохраняются до  $pH=4$ . При этом параметры R, G и B в зависимости от  $pH$  среды изменяются не линейно. Эти зависимости удовлетворительно аппроксимируются параболическими трендами с максимумами в области  $pH=3-5$ . При дальнейшем повышении  $pH$  значения всех трех цветовых характеристик падают.

**Таблица - Параметры окраски антоциановых красителей *Hibiscus Sabdariffa L.* в цветовом режиме RGB в зависимости от кислотности раствора и длительности хранения**

Кислотность среды	Визуальная характеристика цвета	Характеристики цвета		
		R	G	B
<i>Параметры окраски свежеприготовленных растворов красителей</i>				
1,0	Темно-красный	236	225	225
1,7	Красный	242	230	230
3,6	Светло-красный	242	234	229
4,0	Оранжевый	243	238	234
5,0	Светло-оранжевый	235	232	224
7,0	Желтый	237	237	230
9,0	Желто-зеленый	233	227	213

#### 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. Харламова О. А. Натуральные пищевые красители / О. А. Харламова, Б. В. Кафка. – М.: Наука, 1989. – 191 с.
3. Патент 228344 РФ, МПК 7С 09 В 61/00 Способ получения антоцианового красителя из плодового сырья / А. П. Один, А. Д. Хайрутдинова, В. М. Болотов. ; заявитель и патентообладатель Воронеж, гос. технол. акад. - № 2002131129 ; заяв. 19.11.2002 ; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 13.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ПИГМЕНТОВ ТЕМНЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА

Антоцианы - безопасный пищевой краситель, получаемый из природного сырья. Красители, которые принадлежат к группе антоцианов, устойчивы к воздействию температуры, света, хорошо растворяются в воде, что позволяет их использовать достаточно широко в пищевой промышленности. В основе известных способов получения красных красителей лежат такие технологические процессы, как экстрагирование красящих веществ раствором из растительного материала. Цель работы: подбор оптимальных условий экстрагирования пигментов темных сортов винограда. В качестве объекта исследования в работе использовались выжимки из темного винограда сорта «Изабелла», которые высушили при температуре 60 °С. Экстрагирование проводили водой, подкисленной лимонной кислотой до рН 1. «Изабелла» - американский сорт винограда, естественный гибрид. Ягоды чёрные, со слизистой мякотью и специфическим «лисьим» запахом, созревают поздно; используются в виноделии.

В качестве метода оценки количества пигментов была использована традиционная спектрофотометрия в видимой области на спектрофотометре СФ-56 (рисунок 1), а также цветометрический метод оценки окраски с применением планшетного сканера с последующей обработкой цифровых изображений в системе RGB (рисунок 2-3).

Анализ спектров проводили путем оценки оптической плотности растворов в максимуме светопоглощения.

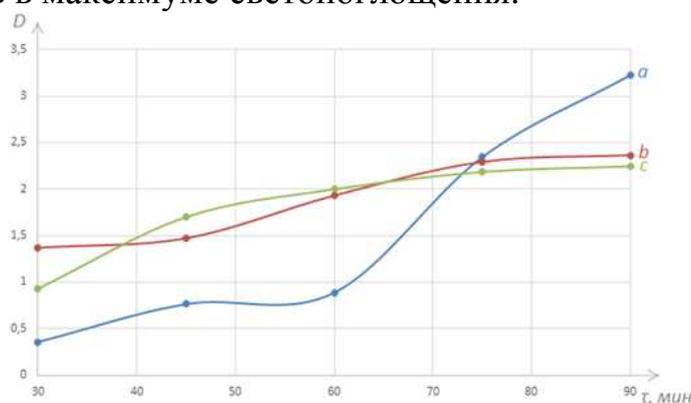
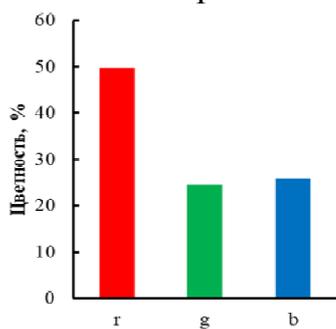
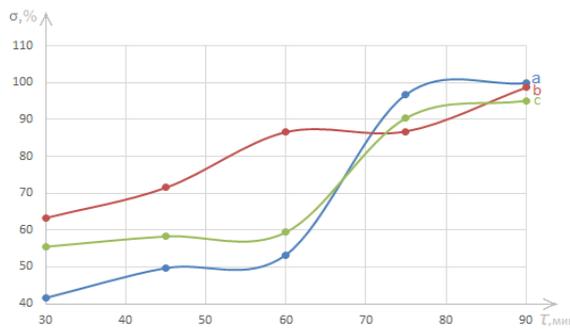


Рисунок 1 - Зависимость оптической плотности от времени  
а - 40°C; б - 60°C; в - 80°C

Анализ цветовых проводили изображений в программе ImageJ. В автоматическом режиме программа рассчитывает средние значения кодов цветности в выбранной области. По полученным данным строили три калибровочные кривые (R, G, B). Система RGB – метод характеристики цвета. Метод основан на трехкомпонентной теории, согласно которой смешением трех основных цветов (красного-R, зеленого-G и синего-B) в подходящих соотношениях получают все остальные спектральные цвета.



**Ри-  
сунк 2 –  
Цветометрическая оценка экс-  
трактов**



**Ри-  
сунк 3 – Зависимость доли красной компо-  
ненты от продолжительности экстрагиро-  
вания при температуре  
a – 40 0С; b – 60 0С; c – 80 0С**

Изабелла - сорт винограда устойчив к условиям «заморозков», хорошо переносит повышенную влажность, не засухоустойчив и не прихотлив в уходе, что делает его применение выгодным. Натуральность данного красителя делают его использование перспективным. Получении стабильного красителя из выжимок темного сорта винограда найдет широкое применение в винном производстве. Оптимальный раствор экстрагировался 90 минут при температуре 60 °С.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технология получения, свойства и применение пищевых красителей на основе природных антоциановых и каротиноидных соединений / Болотов В.М., Комарова Е.В., Саввин П.Н. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2018. Т. 24. № 1. С. 124-133.
2. Болотов В.М. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение / В.М. Болотов [и др.] - СПб : ГИОРД, 2007. - 240 с.
3. Марченко З. Методы спектрофотометрии в УФ и видимой областях в неорганическом анализе / З. Марченко [и др.]; пер. с польск. – Москва : БИНОМ, 2012. – 711 с.
4. Анализ тенденций развития метода химической цветометрии / А.Н. Чеботарев [и др.] // Методы и объекты химического анализа. – 2014. – Т.9, № 1. – С. 4–11.

## **ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ФОСФОРНОКИСЛЫХ СОЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННОГО КАУЧУКА ИЗ ЛАТЕКСА**

Химическая промышленность активно развивается. Разрабатываются новые технологические решения в нефтехимической промышленности, проводится аппаратурная модернизация производств, минимизируются количество отходов и др. Эти мероприятия необходимы для увеличения выхода и качества готовой продукции, понижения уровня загрязнения окружающей среды.

Все эти изменения затрагивают и производства синтетических каучуков. Модернизация технологии связана с повышением производительности процесса, максимальным использованием ценного углеводородного сырья, а также сокращением экологической нагрузки на окружающую среду. В производстве эмульсионных каучуков одной из основных стадий является выделение каучука из латекса. Данная стадия является одной из материало- и энергоемких в производстве эмульсионных каучуков. Особое место при этом отводится подбору коагулирующих агентов, которые должны обладать невысокой себестоимостью, отсутствием дефицитности и токсичности, легкостью обезвреживания на очистных сооружениях и др.

В промышленности по производству эмульсионных каучуков одной из самых загрязняющих стадий является коагуляция, так как в качестве коагулянта и до настоящего времени применяется хлорид натрия с расходом до 240 кг/т каучука[1]. Для решения этой проблемы в ряде технологий используют полимерные четвертичные соли аммония (ПЧСА). Их расход составляет 2-5 кг/т каучука. ПЧСА обладают дефицитностью, высокой антисептической активностью и стоимостью и др., что отрицательно отражается на целевом продукте. Поэтому и до настоящего времени продолжаются поисковые исследования по поиску новых коагулирующих агентов. В данной статье рассмотрена возможность применения солей фосфорной кислоты для выделения каучуков из латекса.

В качестве объектов исследования использовали латекс марки СКС-30 АРК производства АО «Воронежсинтезкаучук». Для исследования приготовлены следующие водные растворы солей фосфорной кислоты: фосфорнокислый аммоний  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  и кислая соль фосфорной кислоты – дигидрофосфат аммония  $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$  с концентрациями 10 %. Для под-

держания рН на заданном уровне и перевода мыл карбоновых кислот в карбоновые кислоты добавляли раствор серной кислоты с концентрацией 2 %. Процесс проводили при температуре 20-25 °С. Полноту коагуляции оценивали гравиметрически и визуально по прозрачности серума. Выделение каучука из латекса проводили по методике, описанной в [3].

По результатам исследования установлено, что полнота коагуляции не достигалась в случае применения для выделения каучука из латекса как кислоты, так и средней соли фосфорной кислоты даже при их расходах до 200 кг/т каучука, что приближается к расходу хлорида натрия. Подобного явления не наблюдалось в случаях использования других солей аммония (сульфат, нитрат, хлорид аммония) в технологии выделения каучука из латекса [2]. Полнота выделения каучука из латекса в случае применения данных солей достигалась при расходах 60-90 кг/т каучука. При этом отмечены некоторые особенности поведения солей аммония в качестве коагулянтов. При увеличении расхода соли аммония фосфорнокислого возрастала рН образующейся водной фазы до 7,0 и уменьшался выход крошки каучука (до 19-20 %). Для поддержания значения рН раствора на заданном уровне (□ 3,0-3,5) необходимо дополнительно вводить раствор серной кислоты. Согласно результатам исследования с увеличением дозировки подкисляющего агента возрастал и выход крошки каучука до 89-90 % (график 1). Полнота коагуляции при расходах соли аммония фосфорнокислого 90-150 кг/т каучука и подкисляющего агента до 55 кг/т каучука, но только после выдержки системы в течение 12-24 часов.

В случае использования дигидрофосфата аммония, как коагулянта, в технологии синтетических каучуков полноты коагуляции не достигали даже при расходах коагулирующего агента до 190-200 кг/т каучук. При этом рН водной фазы раствора поддерживалась достаточно постоянной и составляла 3,0-3,5 без дополнительного ввода подкисляющего агента. Отмечено небольшое повышение рН до 3,5 при высоких расходах дигидрофосфата аммония свыше 150 кг/т каучука.



Рисунок – Зависимость выхода крошки каучука (%) от расхода серной кислоты (кг/т каучука)

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- при использовании солей аммония фосфорной кислоты в технологии выделения каучуков из латексов полноты коагуляции не достигали даже при расходах до 200 кг/т каучука;
- с увеличением расхода аммония фосфорнокислого как коагулянта возрастала рН водной фазы, что требовало для поддержания рН на заданном уровне дополнительного введения серной кислоты;
- применение дигидрофосфата аммония в технологии синтетических каучуков не позволяет достичь полноты выделения каучука из латекса даже при расходе соли 200 кг/т каучука. Значение рН системы было достаточно стабильно (3,0-3,5).

#### ЛИТЕРАТУРА

Химия и технология синтетического каучука [Текст]: учебник и учебн. пособия для студентов высш. учеб. заведений / Л.А. Аверко – Антонович [и др.]. – М.: Химия, Колос, 2008. – 357 с.;

Изучение возможности применения в производстве эмульсионных каучуков неорганических солей аммония / Булатецкая Т.М. [и др.] // Вестник ВГУ. – 2017. – № 4. – С.18 – 22.;

Практикум по коллоидной химии латексов [Текст] : учеб. пособие / Т.Н. Пояркова [и др.]. – М. : Издательский дом «Академия Естествознания», 2011. – 124 с.

УДК 543.423.3:577.164.12

Студ. Е.В. Суворов

Науч. рук. доц. Н.А. Коваленко

(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

#### **ФЛУОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ**

#### **РИБОФЛАВИНА В ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВАХ**

В настоящее время на рынке появилось огромное количество биологически активных добавок и поливитаминных препаратов. Контроль качества таких витаминизированных продуктов регламентируется нормативными документами и санитарными нормами и неразрывно связан с увеличением объема лабораторных анализов, проводимых в соответствии с фармакопейными статьями. В то же время существует тенденция к разработке простых и быстрых методов, позволяющих получать достоверные результаты анализа качества как исходных субстанций, так и готовых витаминизированных комплексов.

Для определения витаминов используют различные методы анализа. Наиболее распространенным является метод высокоэффективной жидкостной хроматографии [1]. Однако несмотря на высокую чувствительность этого метода, стоимость приборов, длительность пробоподготовки и анализа существенно ограничивают его применение в аналитических лабораториях.

Достаточно широко используются спектрофотометрические [2], электрофоретические и вольтамперометрические методы анализа [3].

В свободном виде рибофлавин встречается лишь в молоке, моче и сетчатке глаза. Во всех других природных источниках (дрожжах, печени, пшенице, ячмене, шпинате, томатах) он находится в виде моно- или динуклеотидов (коферменты). В виде кофермента он входит в состав ряда ферментных систем, регулирующих окислительные процессы в клетках. Рибофлавин участвует в синтезе белков и жиров, оказывает влияние на состояние центральной нервной системы, действует на процессы обмена в роговице и сетчатке глаза, т. е. функцию зрения. При недостатке витамина В<sub>2</sub> в организме в первую очередь поражается слизистая оболочка рта и глаз.

Рибофлавин представляет собой кристаллический порошок желто-оранжевого цвета. Кристаллы имеют форму игл или друз. Рибофлавин имеет слабый специфический запах и горький вкус. Мало растворим в воде, не растворим в спирте, эфире, ацетоне, бензоле, хлороформе. В растворах рибофлавин довольно стоек, на скорость его разрушения влияют свет и рН раствора: в щелочной среде рибофлавин разрушается, а в кислой среде устойчив к нагреванию.

Нейтральные водные растворы рибофлавина имеют яркую зеленовато-желтую окраску, обусловленную наличием в молекуле хромофорной (азометиновой) группировки.

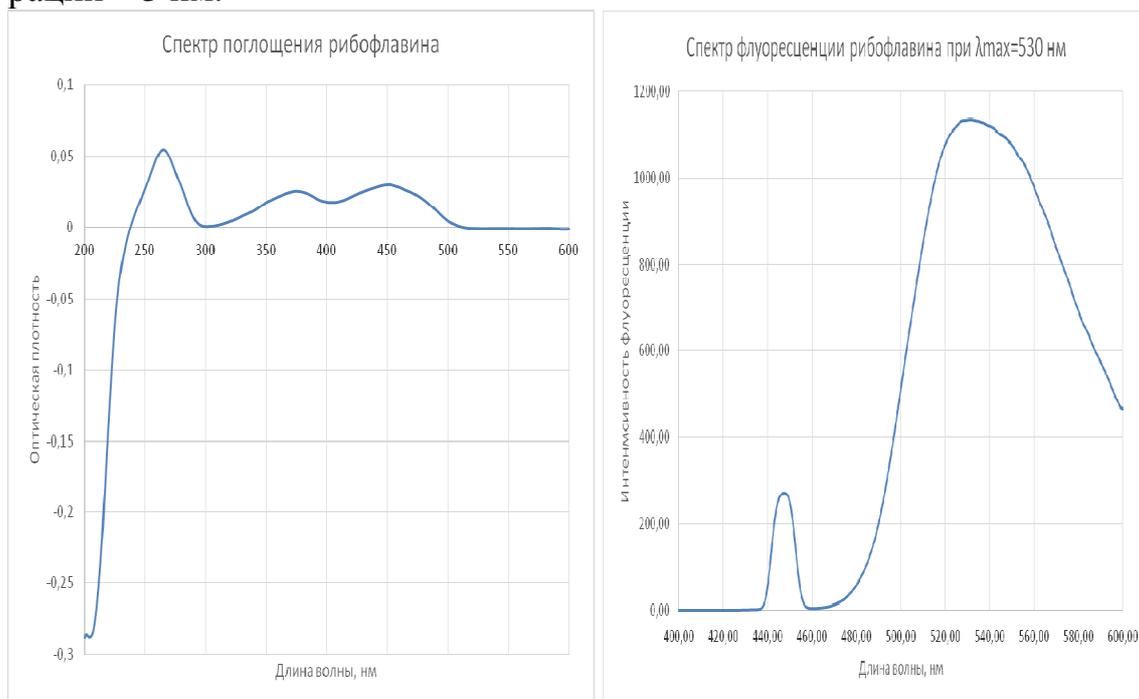
Цель настоящего исследования – разработать методику количественного определения рибофлавина в лекарственных средствах методом флуоресцентной спектроскопии, обладающим высокой чувствительностью и экспрессностью.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- установить оптимальные значения длин волн возбуждения и флуоресценции;
- установить оптимальный интервал рН растворов;
- установить линейную область зависимости интенсивности флуоресценции от концентрации рибофлавина;

- провести оценку мешающего влияния сопутствующих компонентов на аналитический сигнал рибофлавина;
- определить содержание рибофлавина в готовом препарате.

На основании спектральных исследований установлены максимумы длин волн возбуждения и испускания:  $\lambda_{\text{возб}} = 445 \text{ нм}$  и  $\lambda_{\text{исп}} = 530 \text{ нм}$  (рисунок 1). Ширина щели возбуждения – 3 нм, ширина щели регистрации – 3 нм.



**Рисунок 1– Спектры поглощения (а) и флуоресценции (б) раствора рибофлавина**

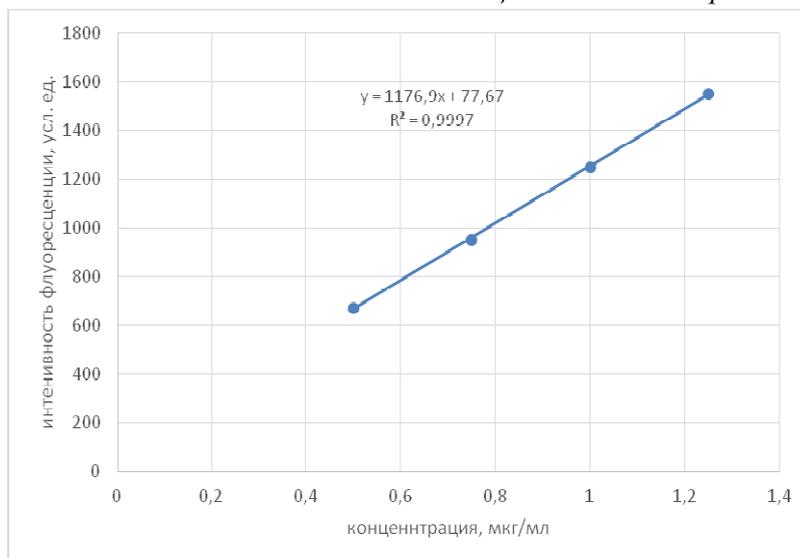
Для построения градуировочного графика готовили серию стандартных растворов из концентрированного стандартного раствора с концентрацией 40 мкг/мл с последующим его разбавлением.

Для создания оптимального значения рН стандартных и анализируемого растворов использовали 1%-ный раствор уксусной кислоты.

В качестве анализируемого объекта использовали комплекс витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> и С из аптечной сети.

Установлена линейная зависимость интенсивности флуоресценции от концентрации стандартных растворов в интервале концентраций 0,25 – 1,25 мкг/мл рибофлавина (рисунок 2).

Относительное содержание рибофлавина в витаминном комплексе из аптечной сети отличалось от заявленного не более, чем на 4%.



**Рисунок 2 – Градуировочный график для флуориметрического определения рибофлавина**

Таким образом, на данном этапе исследования оптимизированы условия и разработана методика флуориметрического определения рибофлавина в готовых лекарственных средствах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шелеметьева О.В. Определение витаминов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в премиксах, биологически активных добавках и пищевых продуктах: автореф. дис. ... канд. хим. наук:02.00.02 / О.В. Шелеметьева; Томский политех. унив. – Томск, 2009. – 25 с.
2. Полануер Б.М., Дедова О.А., Гаспаров В.С. Сравнение различных методов количественного определения рибофлавина в культуральной жидкости штаммов-продуцентов // Биотехнология. –1995. –№5. – С. 44–47.
3. Анисимова Л.С., Михеева Е.В., Слипченко В.Ф. Определение рибофлавина в витаминизированных подкормках и кормах вольтамперометрическим методом. //Журн. аналит. химии. – 2001. – Т. 56, №7. – С.739 – 744.

УДК 543.544.32

Студ. Е.Ф. Евсович

Науч. рук. ст. преп. Г.Н.Супиченко

(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

## **ОСОБЕННОСТИ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ЭФИРНОГО МАСЛА *MENTHA X PIPERITA* L.**

Мята перечная (*Mentha x piperita* L.) – сложный естественный стерильный гибрид от переопыления мяты колосовой и водяной (*M. spicata* L. x *M. aquatica* L.). Мята перечная относится к семейству *Lamiaceae* и является ценным лекарственным, пряно-ароматическим и эфиромасличным растением. В результате селекционной работы были выделены две формы мяты перечной, различающиеся по окраске листьев, стеблей, содержанию и составу эфирного масла. Белая мята характеризуется светло-зеленой окраской стеблей и жилок листа. Ее масло имеет нежный аромат и содержание ментола в нем достигает 60%. У черной мяты лист темно-зеленый, стебли и жилки листьев имеют антоциановую окраску. Растения черной мяты содержат больше эфирного масла, но аромат его более резкий.

Цель настоящей работы – установление особенностей компонентного состава эфирного масла черной мяты.

Объектом исследования являлся образец эфирного масла мяты *Mentha x piperita* L. Растение было выращено на территории Минской области в 2018 г., собрано в стадии цветения и высушено. Эфирное масло получали из надземной части измельченного сырья методом гидродистилляции.

Компонентный состав эфирного масла определяли на газожидкостном хроматографе «Хроматэк-Кристалл», оснащенный пламенно-ионизационным детектором, колонкой Cyclosil B (длина 30 метров, диаметр 0,32 мм и толщина неподвижной фазы 0,25 мкм) в режиме программируемой температуры. Газ-носитель – азот.

Идентификацию основных компонентов эфирного масла проводили сравнением рассчитанных значений обобщенных индексов удерживания со значениями индексов стандартных образцов терпеновых соединений. Содержание основных компонентов определяли методом внутренней нормализации без использования относительных поправочных коэффициентов.

Выход эфирного масла составлял около 1%, что является сравнительно высоким показателем.

На рисунке представлена хроматограмма эфирного масла *Mentha x piperita* L.

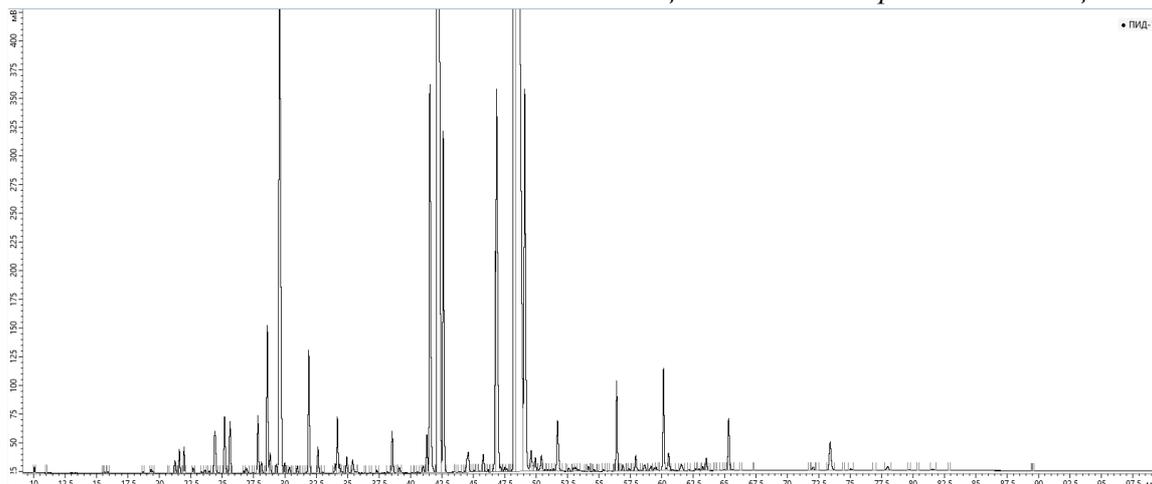


Рисунок – хроматограмма эфирного масла *Mentha x piperita* L.

Качественный состав эфирного масла черной мяты белорусского происхождения не отличался от других образцов *Mentha piperita* L., выращенных в разных странах [1-4].

Главным компонентом исследованного образца является ментол (49,02%), что характерно для всех эфирных масел *Mentha piperita* L. Содержание других основных компонентов эфирного масла убывает в следующем порядке: ментон (20,26%), эвкалиптол (6,26%), ментил-ацетат (3,90%), лимонен (1,25%), терпинен-4-ол (1,25%),  $\gamma$ -терпинен (0,93%).

С целью установления энантиомерного состава эфирного масла мяты перечной было проведено хроматографическое разделение смеси стандартных оптически активных изомеров, присутствие которых по литературным данным возможно в исследованном образце.

Были подобраны оптимальные условия хроматографического разделения и установлены времена удерживания отдельных компонентов стандартной смеси. Установлено, что существует определенная закономерность выхода пиков оптических изомеров исследуемых соединений. Показано, что первыми выходят пики левовращающих изомеров лимонена и ментона. В аналогичных условиях было проведено хроматографическое разделение энантиомеров эфирного масла.

В таблице приведены результаты по распределению энантиомеров основных компонентов эфирного масла *Mentha x piperita* L.

Для всех идентифицированных компонентов характерно преобладание S(-)-форм. По содержанию энантиомеров лимонена и ментона наблюдается корреляция для образцов эфирных масел, выращенных в Беларуси и Республике Словакия [2].

Таблица – распределению энантиомеров эфирного масла *Mentha x piperita* L

Компонент	Содержание, %				
	исследуемое ЭМ	[1] Беларусь	[2] Словакия	[3] Иран	[4] Италия
(-)лимонен	1,18	1,97	1,8	2,22	1,87
(+)лимонен	0,14	0,39	-		
(-)ментон	17,51	21,10	16,5	16,04	15,36
(+)ментон	2,75	3,46	-	-	
ментилацетат	3,90	0,21	7,8	-	4,78
ментол	49,02	51,49	58,4	45,34	44,39

Известно, что левовращающие изомеры обладают более сильным ароматом. Преобладание левовращающих форм основных компонентов эфирного масла придает более резкий аромат растениям *Mentha x piperita* L.

Таким образом, установлено, что география выращивания черной мяты оказывает несущественное влияние на компонентный состав эфирного масла. Содержание основных компонентов в левовращающих формах придает резкий запах растениям *Mentha x piperita* L.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ключник, О.К. Энантиомерный состав эфирных масел растений рода *Mentha*. / О. К. Ключник, Н. А. Коваленко, Г. Н. Супиченко / II-ая научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов факультета «Технология органических веществ»: тезисы докладов. Минск: БГТУ, факультет ТОВ, 2009. – С. 23–25.
2. Vaverková, Š. Qualitative properties of *Mentha × piperita* (L.) after application of the fungicide Hattrick DP-50 / Š. Vaverková, I. Mistríková, M. Hollá // *Plant Soil Environ.* – 2009. – V. 55(10). – P. 454–459.
3. Taherpour, A. A. Chemical composition analysis of the essential oil of *Mentha piperita* L. from Kermanshah, Iran by hydrodistillation and HS/SPME methods / A. A. Taherpour [et al] // *Journal of Analytical Science and Technology.* – 2017. – V.8, № 11. – P. 1-6. DOI 10.1186/s40543-017-0122-0
4. Pino, J. A.; Essential Oil of *Mentha piperita* L. Grown in Jalisco. / J. A. Pino [et al] // *Journal of Essential Oil Research.* – 2002, 14(3). – P. 189–190. DOI: 10.1080/10412905.2002.9699820

УДК 549.5:54–165:536.21:536.413:537.31/.32

Студ. Г.Г. Печенова, В.В. Саскевич

Науч. рук.: доц. И.А. Великанова; доц. Г.П. Дудчик

(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

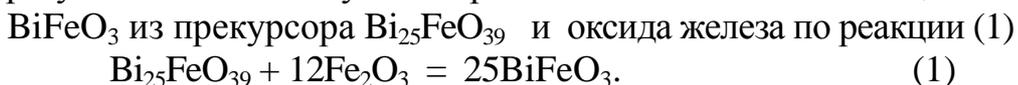
**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ СЕГНЕТОМАГНЕТИКОВ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА  
ВИСМУТА  $\text{BiFeO}_3$ , СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПУТЕМ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$   
С ОКСИДОМ ВИСМУТА  $\text{Bi}_2\text{O}_3$**

**Введение.** В данной работе представлены некоторые результаты исследований условий синтеза твердых растворов сегнетомагнетиков (СМ) на основе феррита висмута  $\text{BiFeO}_3$  и изучения их свойств, которые проведены на кафедре физической, коллоидной химии и аналитической химии Белорусского государственного технологического университета. Феррит висмута  $\text{BiFeO}_3$  считается наиболее перспективным СМ для разработки на его основе материалов с требуемыми электромагнитными характеристиками, поскольку сочетание электрического и магнитного упорядочения наблюдается у него при рекордно высоких температурах, а значения магнитоэлектрического (МЭ) эффекта на порядки превышают величины, измеренные при комнатных температурах в других СМ [1]. Однако исследование феррита висмута с целью установления оптимальных условий его синтеза оказалось связанным с целым рядом проблем, которые до настоящего времени не получили своего полного разрешения.  $\text{BiFeO}_3$  – весьма неустойчивое соединение, плавится с разложением и имеет очень узкий температурный интервал существования. Кроме того, твердофазный синтез  $\text{BiFeO}_3$  из оксидов висмута и железа сопровождается образованием двух сопутствующих фаз – муллита  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  и силленита  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ . Эти фазы также плавятся с разложением, однако интервалы их кристаллизации достаточно широки, что препятствует синтезу беспримесного целевого продукта. Другая проблема заключается в том, что в силу структурных особенностей решетки  $\text{BiFeO}_3$  МЭ-эффект наблюдается только у пленочных, но не у объемных образцов  $\text{BiFeO}_3$  [2].

**Основная часть.** Многочисленные исследования феррита висмута показали, что перспективным способом решения перечисленных выше проблем является получение твердых растворов на основе феррита висмута путем изовалентного замещения части катионов  $\text{Bi}^{3+}$  в катионами редкоземельных элементов [1,2]. В нашей работе исследовалась возможность синтеза новых МФ на основе феррита висмута  $\text{BiFeO}_3$  именно в этом направлении – изучались условия получения

твердых растворов состава  $\text{Bi}_{1-x}\text{Ln}_x\text{FeO}_3$ , где Ln – атом редкоземельного элемента (La и Pr).

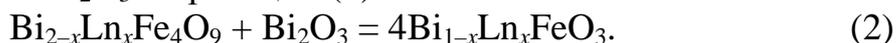
Ранее на кафедре была опробована методика твердофазного синтеза твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Ln}_x\text{FeO}_3$  непосредственно из оксидов висмута, железа и редкоземельных элементов. Методом рентгенофазового анализа было установлено, что получаемые при этом твердые растворы феррита загрязнены примесными фазами (3–5%) [3]. Практически те же результаты были получены при попытке синтеза незамещенного



Удалось снизить температуру отжига с  $850^\circ\text{C}$  до  $800^\circ\text{C}$  и значительно уменьшить содержание примесей – до 3% [3].

Наиболее оптимальным оказался предложенный профессором

Л. А. Башкировым метод синтеза замещенного феррита висмута [4] путем твердофазного взаимодействия твердых растворов на основе муллита  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  состава  $\text{Bi}_{2-x}\text{Ln}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$  (Ln = La, Pr;  $x = 0,2; 0,4$ ) и оксида висмута  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  по реакции (2):



Твердые растворы на основе муллита синтезировались предварительно из оксидов  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  высокой степени чистоты (квалификация «х.ч.») по методике, описанной в [4]. Идентификация образцов участников реакции (2) проводилась путем рентгенофазового анализа. Были установлены оптимальные температурные и временные режимы обжига, при которых синтезированные твердые растворы на основе  $\text{BiFeO}_3$  являлись однофазными и практически не содержали примесных фаз  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  и  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ . В таблице приведены параметры элементарных ячеек, рассчитанные для полученных твердых растворов  $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ ,  $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$  и  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$ , которые оказались близки по величине к параметрам элементарной ячейки

$\text{BiFeO}_3$  [5]. Таким образом, синтезированные образцы имели кристаллическую структуру ромбоэдрически искаженного перовскита, аналогичную структуре базового феррита  $\text{BiFeO}_3$ .

Исследованы ИК-спектры поглощения в зависимости от температуры и продолжительности обжига образцов. Измерена их электропроводность при температурах от 470 до 1090 К. Увеличение электропроводности с ростом температуры от 300 до 1100 К на три порядка свидетельствует о том, что исследуемые твердые растворы являются полупроводниками *p*-типа. В диапазонах температур, которые соответствуют линейным участкам зависимости  $\ln\sigma$  от  $1/T$ , определена энергия активации электропроводности.

**Таблица – Параметры  $a$ ,  $\alpha$  и объем  $V$  элементарной ячейки для замещенных ферритов  $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$ ,  $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ ,  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  и незамещенного феррита  $\text{BiFeO}_3$  [5]**

Режим обжига образцов	$a$ , Å	$\alpha$ , град	$V$ , Å <sup>3</sup>	Режим обжига образцов	$a$ , Å	$\alpha$ , град	$V$ , Å <sup>3</sup>
$\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$				$\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$			
$T = 830^\circ\text{C}$ , 30 мин	3,969(6)	89,442	62,545	$T = 30^\circ\text{C}$ , 30 мин	3,952(8)	89,42	61,75
$T = 900^\circ\text{C}$ , 30 мин	3,967(0)	89,523	62,425	$T = 830^\circ\text{C}$ , 4 ч	3,951(4)	89,41	61,68
$T = 900^\circ\text{C}$ , 4 ч	3,960(5)	89,607	62,12	$T = 900^\circ\text{C}$ , 4 ч	3,949(5)	89,45	61,60
$\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$				$\text{BiFeO}_3$			
$T = 900^\circ\text{C}$ , 4 ч	3,965(8)	89,520	62,364	$\text{BiFeO}_3$ [5]	3,962(2)	89,43	62,19

**Заключение.** Работа выполнялась в рамках научного направления по изучению физических свойств магнитных, сегнетомагнитных и полупроводниковых наноструктурных пленочных материалов и разработке на их основе перспективных устройств для электронной и микроэлектронной техники.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макоед И. И. Получение и физические свойства мультиферроиков / Брест: БрГУ, 2009. 181 с.
2. Звездин А.К. Фазовые переходы и гигантский магнитоэлектрический эффект в мультиферроиках / А. К. Звездин, А.П. Пятаков // Успехи физических наук. 2004. Т. 174, № 4. С. 465–470.
3. Затюпо А.А. Синтез сегнетомагнетика  $\text{BiFeO}_3$  из прекурсора  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$  и оксида железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  / А. А. Затюпо, Л.А. Башкиров, Т.А. Шичкова, Г.Г. Эмелло // Труды БГТУ. 2014. № 3: Химия и технология неорган. в-в. С. 44–46.
4. Башкиров Л.А. 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 из 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  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  / Л. А. Башкиров, Г.П. Дудчик, А.А. Глинская, И.А. Великанова // Труды БГТУ. 2016. № 3 (185): Химия и технология неорган. в-в. С. 93–99.
5. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standard: Card N 00-025-0090.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАТИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ  
МЕТАЛЛОВ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СПЛАВА  
АЛЮМИНИЯ АД31**

В настоящее время в промышленности для повышения защитных и физико-механических характеристик алюминия и его сплавов широко используется стандартное оксидирование в 15–20%  $H_2SO_4$  с последующим наполнением в растворах на основе соединений Cr (III, VI) [1]. Однако токсичные свойства соединений хрома служат причиной поиска более экологически безопасных растворов наполнения на основе солей редкоземельных металлов, ванадатов и перманганатов.

Целью данной работы является изучение антикоррозионных и физико-механических свойств оксидированного сплава алюминия АД31, уплотненного в растворах, содержащих катионы никеля и хрома (III).

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 анодно-оксидных покрытий (АОП) использовали электролит, содержащий 2 моль/дм<sup>3</sup>  $H_2SO_4$ . Анодирование проводили при плотности тока 1 А/дм<sup>2</sup> и температуре  $22 \pm 1^\circ C$  в течение 40 мин. Материал катодов – свинец. Составы растворов уплотнения представлены в таблице 1.

Уплотнение АОП проводили при температуре  $100 \pm 1^\circ C$  методом горизонтального погружения анодированных образцов в рабочие растворы. Время наполнения – 20 мин.

**Таблица 1 – Составы растворов уплотнения АОП**

Состав, г/дм <sup>3</sup>	№ электролита	
	1	2
Cr(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	40	-
Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-	40

Микрофотографии АОП образцов сплава АД 31, полученные в исследуемых растворах уплотнения, представлены на рисунке 1.

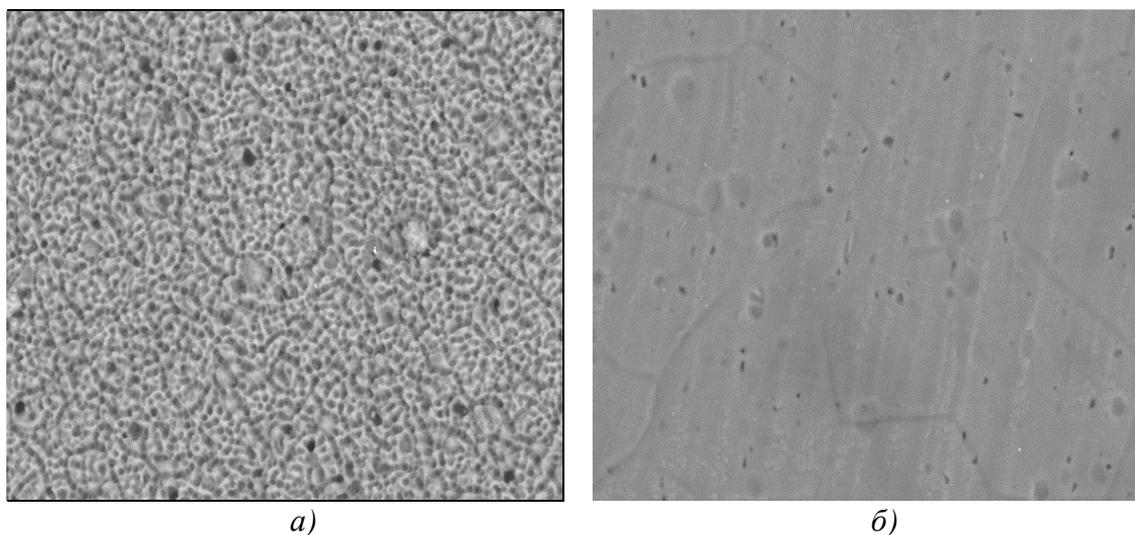


Рисунок 1 – Микрофотографии образца, полученного из электролита №1 (а) и электролита №2 (б)

При уплотнении в электролитах на основе нитратов хрома(III) и никеля на поверхности анодированных образцов формируются матовые оксидные пленки.

Анализ микрофотографий показал, что на поверхности образцов, наполненных в нитрате хрома(III), формируется АОП с пористой структурой и большим количеством включений. На поверхности образцов, уплотненных в растворе нитрата никеля, формируются сплошные АОП.

Элементный состав поверхности алюминиевого сплава АД 31 после анодирования и уплотнения представлен в таблице 2. Как видно из представленных данных, в состав АОП на сплаве АД31, полученных в 20 %-ном растворе серной кислоты, наряду с алюминием входит сера, вероятно, в виде сульфат-ионов.

АОП, уплотненные в растворе  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ , содержат 3 масс. % хрома, а уплотненные в растворе  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  – 1.9 масс. % никеля.

Таблица 2 – Элементный состав поверхности сплава АД31 после анодирования и уплотнения

Состав раствора уплотнения	Элементный состав АОП, масс. %			
	Al	S	Cr	Ni
$\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$	72.7	15.2	3	-
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	68.6	22.6	-	1.9

Изучение коррозионной стойкости полученных покрытий проводили методом снятия потенциостатических поляризационных кривых в 0.5 М растворе NaCl. Электрохимические параметры, полученные из анализа поляризационных кривых, представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Электрохимические характеристики уплотненных АОП на сплаве АД31**

Состав раствора уплотнения	$a_k$ , В	$ b_k $ , В	$a_a$ , В	$b_a$ , В	$i_{\text{корр}}$ , А·см <sup>-2</sup>	$E_{\text{корр}}$ , В
Cr(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	-0.021	0.529	0.023	-0.233	$1.64 \cdot 10^{-7}$	0.408
Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-0.023	0.323	0.011	-0.026	$1.43 \cdot 10^{-9}$	0.744

Как видно из данных таблицы 3 для образца, уплотненного в растворе нитрата хрома, значения плотности тока коррозии составляют  $i_{\text{корр}} = 1.64 \cdot 10^{-7}$  А/см<sup>2</sup>, в нитрата никеля –  $1.43 \cdot 10^{-9}$  А/см<sup>2</sup>. Таким образом, для образцов, модифицированных нитратом никеля, значения плотностей токов коррозии меньше на два порядка, а, следовательно, они проявляют большую коррозионную устойчивость в хлоридсодержащих растворах.

Для установления диэлектрических свойств полученных АОП определяли пробивное напряжение. Для АОП, сформированных в растворе нитрата хрома, пробивное напряжение составляет 210 В, в растворе нитрата никеля – 250 В.

Таким образом, проведенные исследования показали, что уплотнение в электролите на основе нитрата никеля приводит к снижению токов коррозии на два порядка, что свидетельствует о существенном увеличении их защитных свойств. Раствор на основе нитрата никеля можно рекомендовать как экологически безопасную альтернативу растворам на основе соединений хрома (III).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов, Е. Е. Справочник по анодированию / Е.Е. Аверьянов. – М.: Машиностроение, 1988. – 224 с.

УДК 557.114:616-006

Студ. Д.Е. Потихонин; асп. А.А. Касач  
Науч. рук. зав. кафедрой И.И. Курило  
(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ);  
проф. И.М. Жарский  
(кафедра химии, технологии электрохимических производств  
и материалов электронной техники, БГТУ)

### **ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ Cu-Sn-TiO<sub>2</sub> В УСЛОВИЯХ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИИ**

Сплавы меди с оловом представляют собой материалы, которые обладают высокой износо- и коррозионной стойкостью, ковкостью, пластичностью. По своим физико-механическим характеристикам гальванопокрытия сплавами Cu-Sn схожи с Ni, что позволяет использовать их для обеспечения коррозионной защиты и декоративной отделки изделий различного назначения [1], а также для замены меди и никеля в качестве подслоя перед хромированием. Возрастающий интерес к данному виду покрытия в качестве альтернативы никелю и его сплавам обусловлен также тем, что использование последних в ряде европейских стран строго регулируется, так как продукты коррозии никелевых покрытий при контакте с кожей человека могут вызывать аллергические реакции.

Одним из направлений совершенствования функциональных свойств гальванопокрытий, среди которых повышение твердости и износостойкости, обеспечение самосмазывания и др., являются исследования по разработке многофазных композиционных покрытий. Композиционные электрохимические покрытия получают путем соосаждения из электролитов-суспензий, содержащих нерастворимые частицы инертной фазы.

Целью данной работы является изучение влияния сонохимической обработки на количественный состав и физико-механические свойства композиционных гальванических покрытий Cu-Sn-TiO<sub>2</sub>, полученных из щавелевокислого электролита.

Состав щавелевокислого электролита и технологические параметры электрохимического нанесения композиционного покрытия Cu-Sn-TiO<sub>2</sub> представлены в таблице 1. Для приготовления электролита использовали реактивы марки х.ч. В качестве источника УЗ колебаний использовали гомогенизатор ультразвуковой UP 200 Нт, оснащенный титановым генератором (рог) диаметром 12 мм. Электролиз проводили при частоте УЗ 26 кГц и выходной мощности 32 Вт/дм<sup>3</sup>. Рас-

стояние между пьезоэлектрическим излучателем и катодом составляло 30 мм. Постоянную температуру электролита поддерживали при помощи термостата ВТЗ–1. Для нанесения покрытия Cu–Sn использовали электролит состава аналогичного приведенному в таблице 1, не содержащий инертную фазу TiO<sub>2</sub>, при тех же условиях проведения процесса электроосаждения. В качестве инертной фазы использовали TiO<sub>2</sub> (модификация – анатаз) с размером частиц 50–200 нм.

**Таблица 1 – Состав электролита и параметры электролиза для получения покрытия Cu–Sn–TiO<sub>2</sub>**

Состав электролит, г/дм <sup>3</sup>	
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	20
SnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	6
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	55
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> Na	20
TiO <sub>2</sub>	4

В отсутствие сонохимической обработки щавелевокислого электролита (стационарные условия) качественные блестящие покрытия Cu–Sn формируются при катодной плотности тока 0.5 А/дм<sup>2</sup>. Наложение УЗ поля мощностью 32 Вт/дм<sup>3</sup> позволяет расширить диапазон рабочих катодных плотностей тока от 0.5 до 1.5 А/дм<sup>2</sup> и способствует формированию полублестящих покрытий. Повышение плотности тока более 1.5 А/дм<sup>2</sup> приводит к снижению катодного выхода по току сплава, а также к уменьшению адгезии покрытия к подложке вследствие интенсивного выделения водорода. В таблице 2 представлен качественный и количественный состав по данным метода рентгенофлуоресцентного анализа композиционных покрытий Cu–Sn–TiO<sub>2</sub>, полученных при различных токовых нагрузках без и при УЗ воздействии.

**Таблица 2 – Влияние режимов электроосаждения на состав покрытий**

Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	Мощность УЗ, Вт/дм <sup>3</sup>	Содержание в покрытии, масс.%		
		TiO <sub>2</sub>	Cu	Sn
0.5	–	0.30	63.20	36.50
0.5	32	0.10	74.70	25.20
1	32	0.12	66.20	33.68
1.5	32	0.20	65.30	34.20

В стационарных условиях при катодной плотности тока 0.5 А/дм<sup>2</sup> формируются покрытия, содержащие 63.2 масс.% меди и 36.5 масс.% олова. Наложение УЗ при данной плотности тока, как показано в работе, приводит к формированию сплава при более низких перенапряжениях и, вследствие этого, к снижению содержания олова до 25.2 масс.%. По мере повышения токовой нагрузки наблюдается увеличение содержания олова в формируемом покрытии, что обусловлено

ростом катодной поляризации. В отсутствие УЗ обработки при катодной плотности тока  $0.5 \text{ А/дм}^2$  количественное содержание наноразмерных частиц  $\text{TiO}_2$  в металлической матрице составило 0.3 масс.%, а в условиях соноэлектрохимического осаждения наблюдается снижение количества  $\text{TiO}_2$  в покрытии до 0.1 масс.%. Повышение катодной плотности тока приводит к увеличению содержания  $\text{TiO}_2$  в покрытии. Так, при катодной плотности тока  $1.5 \text{ А/дм}^2$  формируются покрытия, включающие до 0.2 масс.%  $\text{TiO}_2$ . Снижение количества  $\text{TiO}_2$  в покрытиях  $\text{Cu-Sn-TiO}_2$  полученных соноэлектрохимическим способом, по-видимому, обусловлено кавитационными явлениями, которые препятствуют включению крупных агломератов в матрицу сплава.

Установлено, что при катодной плотности тока  $0.5\text{--}1.5 \text{ А/дм}^2$  из электролита, не содержащего дисперсную фазу  $\text{TiO}_2$ , вне зависимости от наличия УЗ обработки формируются покрытия  $\text{Cu-Sn}$  с микротвердостью  $300\text{--}317 \text{ HV}$ . Из электролита, содержащего частицы  $\text{TiO}_2$ , при катодной плотности тока  $0.5 \text{ А/дм}^2$  в стационарных условиях и в УЗ поле формируются покрытия  $\text{Cu-Sn-TiO}_2$  с микротвердостью  $352$  и  $367 \text{ HV}$  соответственно. Увеличение микротвердости покрытий при введении в электролит  $\text{TiO}_2$ , по-видимому, объясняется так называемым эффектом дисперсионного упрочнения. Дисперсионное упрочнение обусловлено распределением в металлической матрице частиц  $\text{TiO}_2$ , которые препятствуют движению дислокаций в структуре сплава, что, в свою очередь, приводит к возрастанию микротвердости покрытия. Тот факт, что покрытия  $\text{Cu-Sn-TiO}_2$ , полученные соноэлектрохимическим способом, несмотря на более низкое содержание  $\text{TiO}_2$  и олова, обладают более высокими значениями микротвердости по сравнению с покрытиями, полученными в стационарных условиях, вероятно, можно объяснить более равномерным распределением  $\text{TiO}_2$  в матрице сплава при наложении УЗ поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Jung, M. Electrochemical plating of Cu-Sn alloy in non-cyanide solution to substitute for Ni undercoating layer / M/ Jung, G. Lee, J. Choi //Electrochimica Acta. – 2017. – Т. 241. – С. 229–236.
2. Cui, G. The tribological properties of bronze-SiC-graphite composites under sea water condition / G. Gui //Tribology International. – 2013. – Т. 60. – С. 25–35.
3. Walsh, F. C. A review of developments in the electrodeposition of tin-copper alloys / F.C. Walsh, C.T.J. Low //Surface and Coatings Technology. – 2016. – Т. 304. – С. 246–262.

УДК 547.77

Студ. В.И. Кручик

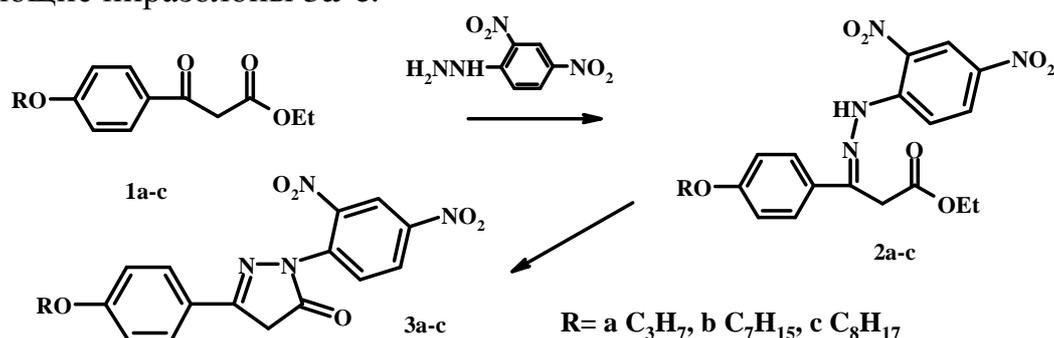
Науч. рук. доц. В.Н. Ковганко

(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

## СПЕКТРАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ РЯДА 1-(2,4-ДИНИТРОФЕНИЛ)-3-(4-АЛКОСИФЕНИЛ)-ПИРАЗОЛ-5- ОНОВ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ИХ СИНТЕЗА

Соединения рядов 4-ацилизоксазолонов и 4-ацилпиразолонов используют в качестве аналитических реагентов для экстракции [1].

Нами ранее сообщалось о разработке метода синтеза 1-(2,4-динитрофенил)-3-(4-алкосифенил)-пиразол-5-онов. Эти вещества могут быть использованы при получении соединений ряда ацилпиразолонов, содержащих в арильном фрагменте у атома азота электроноакцепторные заместители [2]. Разработанный метод синтеза включает реакцию кетоэфиров **1a-c** с 2,4-динитрофенилгидразином. Полученные гидразоны **2a-c** далее подвергали внутримолекулярной циклизации в присутствии метилата натрия. При этом получались соответствующие пиразолоны **3a-c**.



Как правило, циклизация промежуточного гидразона протекает быстро уже в условиях первой стадии синтеза [3]. Особенность синтеза пиразолонов **3a-c** в том, что стадию внутримолекулярной циклизации проводили отдельно. Это связано с тем, что нитрогруппы понижают основность атома азота гидразина [4].

В данном сообщении нами приводятся обобщенные данные по спектральной идентификации синтезированных соединений.

Для подтверждения строения синтезированных соединений нами использованы современные физико-химические методы анализа: УФ, ИК и ЯМР спектроскопия на ядрах <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C.

В УФ спектрах соединений **2** наблюдается четкий максимум при 392 нм, который соответствует поглощению ароматического хромофора, содержащего нитрогруппы. Это подтверждает присоединение 2,4-динитрофенилгидразина на первой стадии синтеза.

В ИК спектрах соединений **2** наблюдаются все необходимые полосы поглощения. Так, в ИК спектре гидразона **2b** присутствуют полосы, которые соответствуют колебаниям связей N-H ( $3259\text{ см}^{-1}$ ), C-H ароматического заместителя ( $3110\text{ см}^{-1}$ ), C-H алкильного заместителя ( $2952, 2928, 2855\text{ см}^{-1}$ ), C=O сложноэфирной группы ( $1737\text{ см}^{-1}$ ), C=N ( $1622\text{ см}^{-1}$ ), связей C=C бензольных колец ( $1606, 1498\text{ см}^{-1}$ ), нитрогрупп ( $1594, 1340\text{ см}^{-1}$ ). Наличие этих полос подтверждает присоединение 2,4-динитрофинил гидразина, а также то, что на первой стадии синтеза все остальные функциональные группы остаются в неизменном виде.

Важная информация о строении может быть получена из ЯМР спектров. Например, в спектре ЯМР на ядрах  $^1\text{H}$  соединения **2** присутствуют сигналы протонов этокси группы. Это подтверждает, что на первой стадии не происходит циклизация, которая сопровождается отщеплением молекулы этанола. В области сигналов ароматических протонов в спектрах гидразонов присутствуют сигналы атомов водорода 2,4-динитробензольного кольца. Сигналы атомов углерода 2,4-динитробензольного заместителя присутствуют в ЯМР  $^{13}\text{C}$  спектрах гидразонов **2**. На второй стадии синтеза происходит внутримолекулярная циклизация. При этом образуется пиразолоновый гетероцикл и отщепляется молекула этанола.

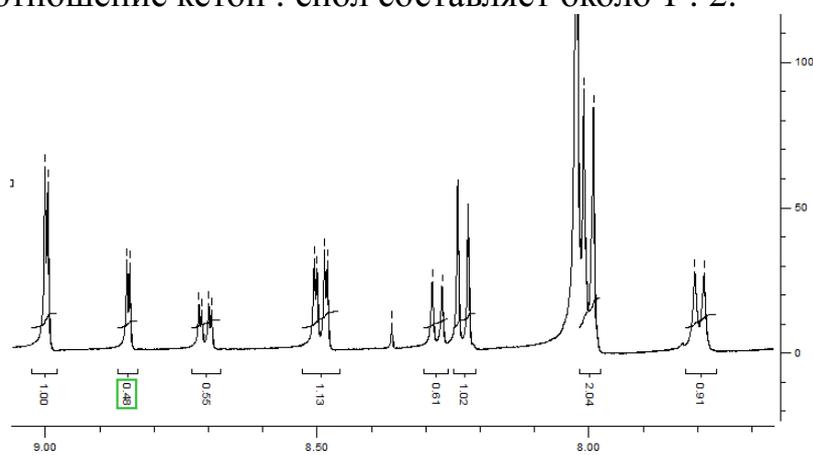
Строение полученных пиразолонов **3** также подтверждено данными спектров. Так, в УФ спектре соединений **3** виден четкий максимум при 388 нм, который соответствует поглощению бензольного кольца с нитрогруппами. Также по сравнению со спектром соединений **2** наблюдается менее интенсивный максимум при 255 нм, что соответствует поглощению сопряженного пиразольного цикла.

В ИК спектре пиразолона **3b** присутствуют полосы поглощения, которые соответствуют колебаниям связей C-H ароматического заместителя ( $3108\text{ см}^{-1}$ ), C-H алкильного заместителя ( $2928, 2857\text{ см}^{-1}$ ), C=O группы пиразолонового гетероцикла ( $1737\text{ см}^{-1}$ ), связей C=C бензольных колец ( $1605\text{ см}^{-1}$ ), нитрогрупп ( $1345\text{ см}^{-1}$ ).

В ЯМР спектрах на ядрах  $^1\text{H}$  гетероциклических соединений **3** видно, что сигналы этоксигруппы исчезли, т. е. происходит циклизация и отщепляется этанол. Важной особенностью растворов пиразолонов **3** является то, что эти соединения могут существовать в двух изомерных формах: пиразол-5-оной и 5-гидроксипиразольной.

Существование такого кето-енольного равновесия для синтезированных нами соединений фиксируется в ЯМР спектрах. На представленном рисунке приведен фрагмент ЯМР спектра вещества **3c** в

области сигналов ароматических протонов. Более интенсивные сигналы соответствуют енольной форме. В случае приведенного соединения **3c** соотношение кетон : енол составляет около 1 : 2.



**Рисунок – Фрагмент ЯМР <sup>1</sup>H спектра соединения 3c (раствор в дейтеродиметилформиде, δ, м.д.).**

Существование кето-енольного равновесия для синтезированных нами соединений **3** также фиксируется в спектрах ЯМР <sup>13</sup>C. При этом в ЯМР спектре <sup>13</sup>C также отсутствуют сигналы углеродов этоки-группы.

#### 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 // *Hydro-metallurgy*. – 2006. – Vol. 82. – P. 100-109.
2. Кручик В.И. 1,3-Диарилпиразолоны – ключевые промежуточные вещества в синтезе экстрагентов ряда пиразолонов. / В.И. Кручик, Д.С. Дорожук // *Сборник научных работ 69-й науч.-техн. конференции студентов и магистрантов БГТУ, 2–13 апреля 2018 года.* – Минск: БГТУ, 2018. – Ч. 2. – С. 293-295.
3. 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.
4. Silverstein, R.M. Identities of Ethyl Benzoylacetate 2,4-Dinitrophenylhydrazone and Its Derived Pyrazolone. Absolute Configuration of *syn* and *anti* Isomers. / R.M. Silverstein, J.N. Shoolery. // *J. Org. Chem.* 1960. – Vol. 25, №8. – P. 1355-1358.

УДК 543.55.054.1

Студ. Е.И. Закржевская, Д.А. Старовойтова

Науч. рук.: ст. преп. А.К. Болвако; доц. Е.О. Богдан

(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

**ИНВЕРСИОННО-ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ВЫТЯЖКАХ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в процессе выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах образуются различные отходы, в том числе и пыль, улавливаемая фильтрами в процессе очистки газов, отходящих от сталеплавильных печей (далее пыль). Складированные электросталеплавильных отходов формируют зону интенсивного загрязнения преимущественно щелочного типа, негативно влияют на атмосферу, гидросферу и почвенный покров окружающей местности, а через них – на состояние флоры, фауны и здоровье людей. В связи с этим, научные исследования, направленные на разработку технологий по переработке и утилизации данных отходов являются весьма актуальными. Одним из направлений переработки пыли является ее использование в качестве сырьевого компонента при получении материалов строительного назначения. Однако в соответствии с МУ 2.1.674-97 «Санитарно-гигиеническая оценка стройматериалов с добавлением проматходов» необходимо предварительное исследование пыли на предмет миграции ионов тяжелых металлов в водные среды с различными рН. Наличие различных компонентов пыли, например, ионов тяжелых металлов, в водной вытяжке характеризует ее максимальную миграционную и биологическую активность и, следовательно, максимальную возможность неблагоприятного воздействия исследуемого отхода на окружающую среду.

Для определения потенциально опасных для здоровья микропримесей, в том числе ионов тяжелых металлов, в объектах окружающей среды, в природных и сточных водах, в технологических средах широкое распространение получил метод инверсионной вольтамперометрии (ИВА). Метод ИВА характеризуется низкими (до  $10^{-10}$  моль/дм<sup>3</sup>) пределами обнаружения, достаточно высокой селективностью и хорошими метрологическими характеристиками. Данным методом возможно осуществлять раздельное количественное определение ионов тяжелых металлов, которые способны переходить в окружающую среду из промышленных отходов, хранящихся на полигонах, при воздействии на них атмосферных осадков.

Цель работы – изучение миграции ионов тяжелых металлов из пыли, образующейся на металлургическом предприятии, методом инверсионной вольтамперометрии.

Получение вытяжек из образцов исследуемой пыли осуществляли в соответствии с МУ 2.1.674-97. Получение вытяжки включало следующие этапы.

1. Растворение в соотношении 1:10 (мас.) в следующих средах: дистиллированная вода, ацетатный буферный раствор;  $0,8 \text{ моль/дм}^3$  HCl.

2. Встряхивание на протяжении 1 ч на перемешивающем устройстве ЛАБ-ПУ-02.

3. Центрифугирование на лабораторной центрифуге ЦЛМН-Р10-01 в течение 3 мин при 2000 об/мин.

Затем раствор над осадком отбирали пипеткой, переносили в мерную колбу, добавляли фоновый раствор и доводили дистиллированной водой до метки. Состав фонового раствора, необходимого для формирования ртутно-графитового электрода *in situ*, создания кислой среды и подавления миграционного тока,  $\text{моль/дм}^3$ : KCl – 0,335; HCl – 0,02 и  $\text{Hg}(\text{NO}_3) – 5 \cdot 10^{-5}$ . Приготовленные таким образом пробы анализировали методом переменноточковой квадратно-волновой инверсионной вольтамперометрии с использованием полярографа ПУ-1 в комплекте с электрохимическим датчиком ЕМ-04. Трехэлектродная электрохимическая ячейка включала дисковый вращающийся электрод из углесталла с геометрической площадью поверхности  $6 \text{ мм}^2$ , вспомогательный электрод – стеклоуглеродный стаканчик и электрод сравнения – насыщенный хлорсеребряный. Скорость вращения индикаторного электрода –  $1000 \text{ об}^{-1}$ . Скорость развертки потенциала составляла  $20 \text{ мВ/с}$ , амплитуда поляризующего напряжения –  $20 \text{ мВ}$ , время накопления –  $30 \text{ с}$ , время успокоения –  $20 \text{ с}$ . Для приготовления растворов использовали реактивы квалификации «ч. д. а.». Электрохимическое формирование рабочего ртутно-графитового электрода осуществлялось путем катодной поляризации вращающегося дискового электрода при потенциале  $-1,4 \text{ В}$  (х. с. э.). Анодная развертка на стадии регистрации вольтамперной кривой осуществлялась в диапазоне потенциалов от  $-1,4$  до  $0,4 \text{ В}$  (х. с. э.).

Каждое измерение состояло из четырех стадий: накопления, успокоения, регистрации аналитического сигнала и регенерации электрода с использованием анодной линейной развертки потенциала. Каждое измерение включало 3 последовательных цикла. Для рас-

четов использовались значения площади под вольтамперной кривой, полученные как средний результат из трех параллельных измерений.

Регистрацию вольтамперограмм осуществляли с использованием разработанного шаблона для программы Unichrom версии 5.0.19, позволяющего проводить определение площади и высоты пиков, а также математическую обработку результатов анализа.

Уравнения градуировочных графиков, полученных в диапазоне концентраций  $(2-7) \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup> для Zn<sup>2+</sup> и Cu<sup>2+</sup> и  $(2-7) \cdot 10^{-6}$  моль/дм<sup>3</sup> для Cd<sup>2+</sup> и Pb<sup>2+</sup> приведены в таблице ( $i$  – сила тока, мА,  $C$  – концентрация соответствующего элемента, моль/дм<sup>3</sup>).

**Таблица – Параметры градуировочных зависимостей**

Элемент	Уравнение	$R^2$
Cd	$i = (6,53 \cdot 10^0 C + 2,54) \pm 1,74$	0,978
Zn	$i = (6,46 \cdot 10^0 C + 0,287) \pm 0,588$	0,999
Pb	$i = (6,09 \cdot 10^0 C + 19,0) \pm 3,17$	0,921
Cu	$i = (7,27 \cdot 10^0 C - 0,994) \pm 0,427$	0,965

Установлено, что в изученном диапазоне концентраций наблюдается постоянство градуировочных зависимостей площадей пиков элементов в зависимости от концентрации деполяризатора при изменении концентрации других компонентов, что свидетельствует о незначительном влиянии компонентов друг на друга и возможности селективного определения элементов в данных условиях. В указанном диапазоне концентраций зависимости удовлетворительно линеаризуются, поэтому в дальнейшем определение Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> и Pb<sup>2+</sup> в вытяжках осуществляли методом однократной добавки.

Определение содержания металлов в вытяжках, полученных с использованием буферного раствора и соляной кислоты, требует введения реагентов для маскирования мешающих ионов и подбору условий проведения анализа. В условиях проведенного эксперимента на вольтамперограмме регистрируются практически неразрешенные пики.

Установлено, что концентрация ионов исследуемых металлов в вытяжках, полученных с использованием дистиллированной воды, не превышает 0,05 мг/дм<sup>3</sup> для цинка и меди, 0,006 мг/дм<sup>3</sup> для свинца и 0,16 мкг/дм<sup>3</sup> для кадмия, что полностью удовлетворяет требованиям нормативной документации по содержанию химических элементов в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водоснабжения.

УДК 543

Студ. В.В. Кугач

Науч. рук. ст. преп. А.К. Болвако

(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

## **ФЛУОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕНОЛА В МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ СТОЧНЫХ ВОД**

Контроль содержания вредных веществ в природных и технологических объектах является неотъемлемой частью комплекса мер, направленных на обеспечение безопасных условий жизнедеятельности. Одним из контролируемых параметров в поверхностных и сточных водах, промышленных выбросах и атмосферном воздухе является содержание фенола, который относится ко 2 классу опасности. Среднесуточная предельно допустимая концентрация фенола в воздухе населённых мест составляет 3,0 мкг/м<sup>3</sup>, для водных объектов – 1,0 мкг/дм<sup>3</sup>, в воздухе рабочей зоны – 0,3 мкг/дм<sup>3</sup>.

Достаточно простым и при этом весьма чувствительным способом определения фенола в водных средах является фотометрическое или флуориметрическое детектирование, что в сочетании с высокими коэффициентами распределения в системе вода – воздух делает наиболее предпочтительным поглощение фенола в водную фазу с последующим определением. Определение содержания фенола в водных растворах можно осуществлять в соответствии со следующими методиками:

– МВИ № 2.2.53.3 «Методика выполнения измерений концентрации летучих с паром фенолов фотометрическим методом» (Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь, часть 3, 2011 г.);

– М 01-07-2006 (ПНД Ф 14.1:2:4.182-02, 2006 г.) и МУК 4.1.1263-03 «Методы контроля. Химические факторы. Измерение массовой концентрации фенолов общих и летучих флуориметрическим методом в пробах питьевой воды и воды поверхностных и подземных источников водопользования».

Количественное определение фенола возможно в соответствии с МВИ № 2.2.53.3 при его концентрации выше 5,0 мкг/дм<sup>3</sup> и в соответствии с МУК 4.1.1263-03 – при концентрации выше 0,5 мкг/дм<sup>3</sup>. Как следует из сравнения метрологических характеристик указанных методик, использование флуориметрического метода позволяет повысить предел обнаружения фенола в пробе на порядок без значительного усложнения процедуры анализа.

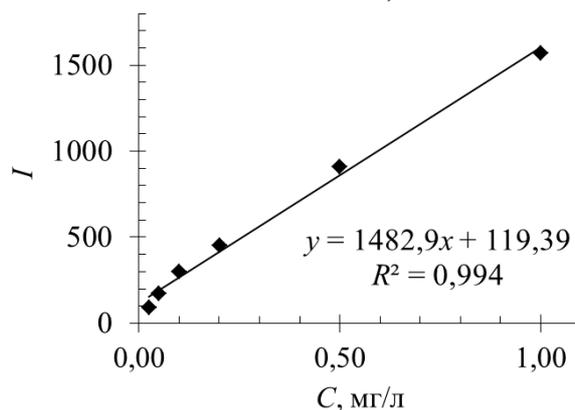
Цель работы: разработка методики определения фенола в модельных растворах сточных вод флуориметрическим методом с использованием спектрофлуориметра Solar CM 2203.

На основании МУК 4.1.1263-03 определение содержания фенола в воздухе рабочей зоны осуществляется следующим образом. В делительную воронку вместимостью 50 см<sup>3</sup> помещают 10,0 см<sup>3</sup> раствора фенола массовой концентрации 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, добавляют бутилацетат и проводят экстракцию в течении 30 с. Водный (нижний слой) отбрасывают, а к органическому слою пипеткой добавляют 10,0 см<sup>3</sup> раствора NaOH с концентрацией 1 % мас. и проводят реэкстракцию в течении 30 с. Нижний слой помещают в сухой стаканчик и добавляют по каплям 5 моль/дм<sup>3</sup> раствор HCl, перемешивая и контролируя pH раствора при помощи универсального индикатора. При работе с модельными растворами стадию экстракции бутилацетатом и реэкстракцию не осуществляли.

Для изучения спектральных характеристик и построения градуировочных графиков готовили модельные растворы фенола: навеску фенола взвешивали на аналитических весах, переносили в мерную колбу и доводили дистиллированной водой до метки. Затем путём последовательного разбавления готовили растворы с концентрацией в диапазоне от 0,025 до 1,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Водные растворы фенола способны к флуоресценции при облучении ультрафиолетовым излучением в области  $\lambda = 270$  нм [1]. Для изучения спектральных характеристик модельных растворов фенола получили спектр испускания в диапазоне длин волн 290–500 нм при длине волны возбуждения  $\lambda = 270$  нм. При измерениях использовали кварцевую кювету с сечением в виде квадрата толщиной 1 см. На основании спектра испускания фенола выбрали ряд длин волн, при которых в дальнейшем получали градуировочные графики. Вид градуировочного графика приведен на рисунке. Зависимости, полученные при других условиях, имели аналогичную достаточно высокую линейность в изученном диапазоне концентраций при величине  $R^2$  от 0,93 до 0,99.

На основании анализа градуировочных зависимостей, полученных при различных длинах волн регистрации, установлено, что чувствительность метода в указанных условиях, оцененная по величине углового коэффициента, в зависимости от спектральной области изменяется в пределах от 142 до 1483 при неизменно высокой степени линейности.



**Рисунок – Градуировочный график для модельных растворов фенола**  
( $\lambda_{\text{возб}} = 270$  нм,  $\lambda_{\text{рег}} = 290$  нм)

Контроль градуировочных характеристик в диапазоне концентраций от 0,025 до 1,0 мг/л по величине измеренного значения массовой концентрации по отношению к действительному значению показал, что они являются стабильными (отношение лежит в пределах от 10–20%).

Проведение аналитического определения при длине волны возбуждения  $\lambda_{\text{возб}} = 270$  нм и длине волны регистрации  $\lambda_{\text{рег}} = 290$  нм позволяет осуществлять количественное определение массовой концентрации фенола в диапазоне концентраций от 0,025 до 1,0 мг/дм<sup>3</sup> с достаточно высокой точностью.

В соответствии с МУК 4.1.1263-03 для уровня доверительной вероятности 0,95 предел повторяемости методики должен составлять 28%, предел воспроизводимости – 42%. Приписанные характеристики погрешности измерений и ее составляющих: показатель повторяемости – 10%; показатель воспроизводимости – 15%; показатель правильности – 18%; показатель точности – 35%.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлены параметры флуориметрического определения массовой концентрации фенола в водных растворах с использованием спектрофлуориметра Solar CM 2203, которые можно использовать при проведении анализа модельных и реальных объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fluorescence Investigations of Phenol Phototransformation in Aqueous Solutions / O.N. Tchaikovskaya, I.V. Sokolova, R.T. Kuznetsova [et al.] // Journal of Fluorescence. – 2000. – Vol. 10, No. 4. – PP. 403–408.

УДК 665.654 + 536.413 + 537.31/.32

Студ. А.В. Кришук

Науч. рук. доц. Е.А. Чиждова, доц. А.И. Клындюк  
(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

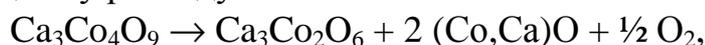
## **СПЕКАНИЕ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ В УСЛОВИЯХ ПЕРИТЕКТОИДНОГО РАСПАДА КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ЕЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ**

Возобновляемым источником энергии является теплота, выделяющаяся в окружающую среду при работе промышленных предприятий, автотранспорта, а также различных установок и агрегатов. Эту теплоту можно непосредственно преобразовать в электрическую энергию с помощью термоэлектрических генераторов (ТЭГ) [1]. Для создания высокотемпературных ТЭГ необходимы материалы, характеризующиеся высокими значениями электропроводности ( $\sigma$ ) и термо-ЭДС ( $S$ ) и низкой теплопроводностью ( $\lambda$ ), а также устойчивые на воздухе при повышенных температурах. Такое сочетание свойств является достаточно редким, но достигается в слоистых кобальтитах за счет нанослоистой структуры материалов. Функциональные (термоэлектрические) характеристики (фактор мощности  $P = S^2 \cdot \sigma$  и показатель термоэлектрической добротности (параметр Иоффе)  $Z = P/\lambda$  и  $ZT = (P \cdot T)/\lambda$ ) керамики на основе  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  уступают традиционным термоэлектрикам, но могут быть улучшены за счет получения более плотной керамики. Получить менее пористые образцы возможно путем изменения метода синтеза (растворные методы) [2], а также подвергая керамику, полученную традиционным твердофазным методом, горячему прессованию или плазменно-искровому спеканию [3]. Эти методы либо сложны в исполнении, либо требуют специального оборудования.

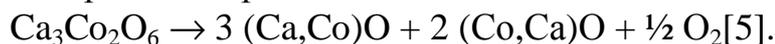
Целью настоящей работы являлось повышение термоэлектрических характеристик керамики на основе слоистого кобальтита кальция  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  за счет получения более плотных образцов в условиях перитектоидного спекания.

Для достижения поставленной цели керамическим методом из оксидов кобальта (II, III), диспрозия и карбоната кальция на воздухе при температуре 1073 К в течение 12 часов были синтезированы образцы кобальтита кальция  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  и твердого раствора  $\text{Ca}_{2,8}\text{Dy}_{0,2}\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ . Затем после промежуточного помола из порошков прессовали прямоугольные параллелепипеды размером 5×5×30 мм. Часть полученных образцов спекали в течение 12 ч при температуре 1193 К (режим I, традиционное спекание). Другую часть образцов

подвергали многоступенчатому отжигу: 1473 К (24 ч), 973 К (8 ч), 1173 К (12 ч) (режим II). Часть этих образцов подвергали дополнительному отжигу при температуре 1173 К в течение еще 24 ч (режим III). Величину кажущейся плотности ( $\rho_{\text{эксп}}$ ) находили по размерам и массе образцов (для  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  рентгенографическая плотность составляет 4,677 г/см<sup>3</sup> [4]). Как видно из таблицы, после многоступенчатого отжига в режиме III кажущая плотность образцов  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  (по сравнению с традиционным режимом спекания I) возросла в 1,25 раза (до 86% от рентгенографической), а для твердого раствора  $\text{Ca}_{2,8}\text{Dy}_{0,2}\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  – в 1,46 раза. Ожидаемый рост плотности образцов происходит за счет высокой температуры спекания. Однако при нагревании выше 1199 К кобальтит кальция  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  подвергается перитектоидному распаду:



а затем при температуре выше 1299 К происходит перитектоидный распад продукта первичного распада:



Таким образом, керамика, спеченная при температуре 1473 К получается более плотной, но содержит значительное количество низкопроводящих фаз [6]. Поэтому для восстановления фазы  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  образцы необходимо подвергать длительному низкотемпературному окислительному отжигу сначала при 973 К (для насыщения образцов кислородом воздуха), а затем при 1073 К [6].

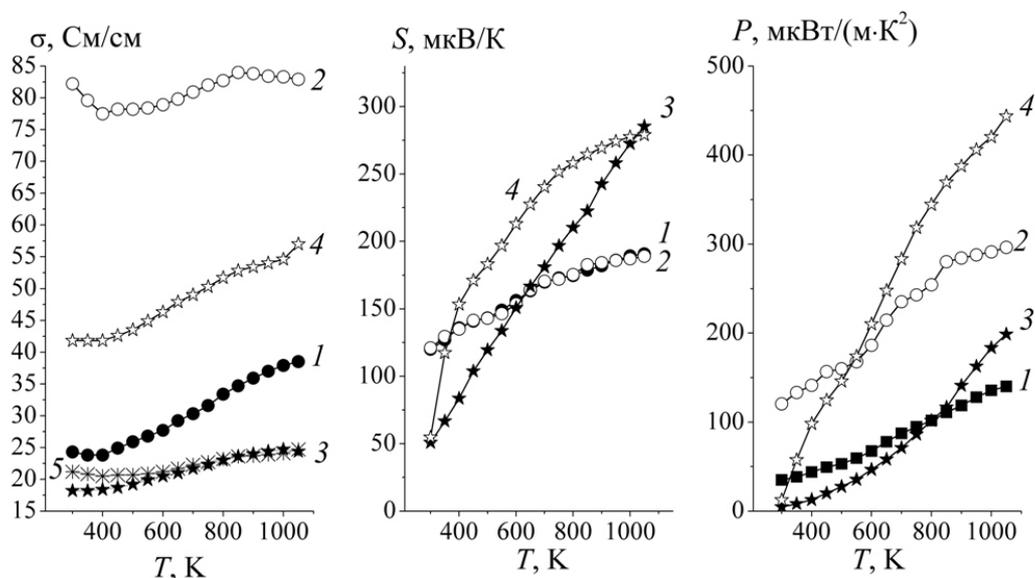
**Таблица – Значения кажущейся плотности, удельной электропроводности, коэффициента термо-ЭДС и фактора мощности образцов керамики  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  и  $\text{Ca}_{2,8}\text{Dy}_{0,2}\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ , отожженных в различных режимах**

	$\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$		$\text{Ca}_{2,8}\text{Dy}_{0,2}\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$	
	Режим I	Режим III	Режим I	Режим III
$\rho_{\text{эксп}}$ , г/см <sup>3</sup>	3,23	4,04	3,09	4,51
$\sigma_{1000}$ , См/см	37,9	83,3	24,7	54,6
$S_{1000}$ , мкВ/К	189,2	187,0	272,5	277,5
$P_{1000}$ , мкВт/(м·К <sup>2</sup> )	135,7	291,3	183,4	420,0

Удельную электропроводность и термо-ЭДС материалов изучали на воздухе в интервале температур 300–1100 К. Перед измерениями электрических свойств на поверхности образцов формировали Ag-электроды путем вжигания серебряной пасты при 1100 К в течение 15 мин. Как видно из рисунка, удельная электропроводность незамещенного кобальтита кальция после отжига в режиме II (линия 5

на рисунке) уменьшилась по сравнению с образцами, отожженными в режиме I.

Это объясняется тем, что в образцах, отожженных в режиме II не до конца прошло восстановление фазы  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  и в них в заметном количестве присутствуют низкопроводящие фазы.



**Рисунок 1** – Температурные зависимости удельной электропроводности ( $\sigma$ ), коэффициента термо-ЭДС ( $S$ ), фактора мощности ( $P$ ) керамики состава  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  (1–2, 5) и  $\text{Ca}_{2,8}\text{Dy}_{0,2}\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  (3, 4), спеченных в режиме I (1, 3), II (5) и III (2, 4)

После дополнительного отжига в течение 24 часов при 1073 К электропроводность керамики  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  при 1000 К возрастает в 2,2 раза по сравнению с образцами, отожженными в режиме I. После отжига в режиме III удельная электропроводность образцов твердого раствора  $\text{Ca}_{2,8}\text{Dy}_{0,2}\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  также демонстрирует рост в 2 раза по сравнению с образцами, спеченными традиционным способом, за счет более высокой плотности материалов, которая, в свою очередь, приводит к уменьшению электросопротивления межзеренных контактов. Значения коэффициента термо-ЭДС и фактора мощности керамики с ростом температуры для всех полученных образцов увеличивались. Наибольшее значение фактора мощности при температуре 1000 К продемонстрировала керамика  $\text{Ca}_{2,8}\text{Dy}_{0,2}\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ , отожженная в режиме III ( $P_{1000} = 420 \text{ мВт}/(\text{м}\cdot\text{К}^2)$ ), что в 2,3 раза выше, чем для образцов, спеченных в режиме I). Поскольку изменение режима спекания, как и ожидалось, практически не отразилось на значениях коэффициента термо-ЭДС, то увеличение фактора мощности образцов связано только с соответствующим ростом удельной электропроводности. Фактор мощности ке-

рамыки  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ , отожженной в режиме Ш при 1050 К составил 296 мкВт/(м·К<sup>2</sup>), что близко к значению фактора мощности при 1073 К, полученному в работе [6] для  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ , спеченного по сходной методике (245 мкВт/(м·К<sup>2</sup>)).

Полученные результаты позволяют сделать заключение о том, что спекание керамики на основе слоистого кобальтата кальция в условиях перитектоидного распада является перспективным методом улучшения термоэлектрических свойств (в частности, повышения фактора мощности).

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» подпрограммы «Материаловедение и технологии материалов» (задание 1.55).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Oxide Thermoelectrics // ed. by K. Koumoto, I. Terasaki, N. Murayama. – Research Signpost. Trivandrum, India, 2002. – 255 p.
2. Matsukevich, I.V. Effect of the Preparation Method on the Structure and Properties of the Layered Calcium Cobaltate / Matsukevich I.V., Klyndyuk A.I. // Journal of Applied Chemistry. – 2013. – 1 (1). – P. 73–84.
3. Preparation of  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$  and Improvement of its Thermoelectric Properties by Spark Plasma Sintering / Yu. Liu [et al.] // J. Amer. Cer. Soc. – 2005. – V. 88, N 5. – P. 1337–1340.
4. Preparation of high-performance  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$  thermoelectric ceramics produced by a new two-step method / M.A. Madre [et al.] // J. Eur. Ceram. Soc. – 2013. – V. 33, N 10. – P. 1747–1754.
5. Woermann, E. Phase equilibria in the system CaO–cobalt oxide in air / E. Woermann, A. Muan // J. Inorg. Nucl. Chem. – 1970. – V. 32. – P. 1455–1459.
6. Post-calcination, a novel method to synthesize cobalt oxide-based thermoelectric materials / M.-G. Kang [et al.] // Acta Materialia. – 2014. – V. 73. – P. 251–258.

УДК 668.5.035.9

Студ. И.С. Сербин, Ю.С. Война, А.В. Стрибуть

Науч. рук. доц. А.Н. Никитенко; доц. С.А. Ламоткин

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

### **БАД НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ**

Растительные масла – это продукты, извлекаемые из растительного сырья и состоящие из триглицеридов жирных кислот и сопутствующих им веществ (фосфолипиды, свободные жирные кислоты, воски, стеролы, вещества, придающие окраску и др).

Ненасыщенные жирные кислоты – это одноосновные жирные кислоты, в структуре которых присутствуют одна (мононенасыщенная) или две и более (полиненасыщенные жирные кислоты, сокращенно ПНЖК) двойных связей между соседними атомами углерода.

Биологическая роль ненасыщенных жиров гораздо более разнообразна, чем насыщенных. Большая часть этих молекул используется организмом как источник энергии, однако это далеко не самая важная их функция. Наибольшее биологическое значение из ненасыщенных жирных кислот имеют полиненасыщенные (незаменимые) жирные кислоты. Это в первую очередь *линолевая* (омега-6 полиненасыщенная ЖК) и *линоленовая* (омега-3 ПНЖК); также выделяют омега-9 кислоты, к которым относится *олеиновая* – мононенасыщенная жирная кислота.

Омега-3 и омега-6 ненасыщенные жирные кислоты являются эссенциальным компонентом пищевых продуктов, их живой организм не может синтезировать сам.

Основное биологическое значение жирных кислот омега-3 и омега-6 заключается в их участии в синтезе эйкозаноидов, препятствуют развитию атеросклероза, обладают кардиопротекторным и антиаритмическим действием, регулируют воспалительные процессы в организме, снижают уровень холестерина. Эти вещества защищают организм человека от сердечно-сосудистых заболеваний, главного фактора смертности современного человека.

Мононенасыщенные жирные кислоты также обладают полезными свойствами. Их назначают при лечении заболеваний нервной системы, дисфункции надпочечников. Олеиновая кислота – снижает артериальное давление. Мононенасыщенные жирные кислоты также поддерживают необходимую подвижность клеточных мембран, что облегчает прохождение в клетку полиненасыщенных жирных кислот.

Роль ненасыщенных жирных кислот велика в поддержании нормальной жизнедеятельности человека, а с учетом неспособности человеческого организма синтезировать их, необходимо обогащать пищу

искусственным путем, например, с помощью биологически активных добавок.

Биологически активные добавки к пище (далее по тексту – БАД) – природные и (или) идентичные природным биологически активные вещества, а также пробиотические микроорганизмы, предназначенные для употребления одновременно с пищей или введения в состав пищевой продукции [1].

Они используются как дополнительный источник пищевых и биологически активных веществ, для оптимизации различных видов обмена веществ, нормализации и/или улучшения функционального состояния органов и систем, снижения риска заболеваний, нормализации микрофлоры желудочно-кишечного тракта и в качестве энтеросорбентов. При этом БАД не являются лекарственными.

Современная классификация подразумевает разделение их на три основных класса: нутрицевтики, парафармацевтики, эубиотики.

*Нутрицевтики* – биологически активные добавки к пище, применяемые для коррекции химического состава пищи человека. В состав нутрицевтиков входят естественные компоненты пищи, физиологическая потребность и биологическая роль которых установлены. Конечной целью их использования является улучшение пищевого статуса человека, укрепление здоровья человека и профилактика ряда заболеваний.

*Парафармацевтики* – биологически активные добавки к пище, применяемые для профилактики заболеваний, вспомогательной терапии и поддержки в физиологических границах функциональной активности органов и систем.

*Эубиотики (пробиотики)* – бактериологические БАД, содержат живые микроорганизмы и/или их метаболиты, нормализующие микрофлору пищеварительного тракта.

В течение последних нескольких лет наблюдается динамичное развитие рынка биологически активных добавок. Мировой рынок БАД, начиная с 2001 года, постоянно расширяется на 7–8% в год. Основная часть БАД позиционируется производителями как общеукрепляющие, очищающие организм, корректирующие вес и улучшающие качество жизни.

Отечественное производство представлено 21 предприятием, 11 из которых выпускают лекарственные средства, а остальные – БАД. Основными лидерами являются: УП «Минскинтеркапс», ОАО «Борисовский завод медпрепаратов», РУП «Белмедпрепараты».

На УП «Минскинтеркапс» выпускают «Лигнокапс» – биологически активная добавкой из льняного масла, используется в качестве дополнительного источника лигнанов и полиненасыщенных омега-3-кислот. Выпускается в виде капсул.

«Эйконол», еще один препарат УП «Минскинтеркапс» – выпускается в виде желатиновых капсул, содержит полиненасыщенные жирные кислоты семейства омега-3 до 28%, насыщенные жирные кислоты 30%, мононенасыщенные жирные кислоты 42%, витамины А, D и Е. Уменьшает содержание холестерина и триглицеридов в плазме при гиперлипидемии, замедляет развитие атеросклероза, способствует рассасыванию бляшек, понижает уровень глюкозы в крови. БАД, препятствует агрегации тромбоцитов, нормализует повышенную свертываемость крови, способствует лизису свежих тромбов.

Помимо жирных кислот, в состав БАД могут входить такие компоненты, как органический селен, который участвует в регуляции обмена веществ, обмена жиров, белков и углеводов, при недостатке селена плохо усваивается йод, необходим для нормального функционирования иммунной системы. Также в состав БАД могут входить бета-каротины, которые являются иммуностимуляторами и антиоксидантами. Витамины В1, В2, С, Е, Р, РР и другие, также минеральные вещества (цинк, магний и др) могут входить в состав БАД.

Основой для производства БАД являются льняное, кедровое, облепиховое и тыквенное масла. Однако целесообразно использовать для их производства и другие масла, богатые омега-3 и омега-6 жирными кислотами: кукурузное, рыжиковое и др.

БАД на основе растительных масел могут использоваться для поддержания здоровья и профилактики и лечения различных заболеваний. Их применение позволит ликвидировать дефицит эссенциальных компонентов питания, противостоять неблагоприятным воздействиям окружающей среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О безопасности пищевой продукции: ТР ТС 021/2011. Введ. 01.07.2013. Минск: Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 880 "О принятии технического регламента Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции". 160 с.

УДК 665.333.4:665.328

Студ. А.В. Стрибуть, Ю.С. Война, И.С. Сербин

Науч. рук. доц. А.Н. Никитенко, доц. С.А. Ламоткин

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И ИХ КУПАЖЕЙ**

Формирование здоровья человека во многом связано с рациональностью питания. Важная роль принадлежит продуктам здорового питания, содержащим незаменимые компоненты в сбалансированном для организма количестве. К числу таких компонентов пищи относят содержание и соотношение полиненасыщенных жирных кислот. Согласно данным ВОЗ, оптимальное соотношение линолевой и линоленовой кислот составляет от 5:1 до 10:1 ( и от 3:1 до 5:1 – в составе лечебных диет).

Изучение жирно-кислотного состава природных масел показало, что в природе не существует «идеального» масла, обеспечивающего поступление в организм человека необходимых жирных кислот в нужном количестве и правильном соотношении [1].

Данная проблема может быть решена следующими способами:

– создание генномодифицированных источников растительных масел с высоким содержанием ПНЖК, в том числе  $\omega$ -3;

– увеличение в питании доли масел с повышенным содержанием  $\omega$ -3-ПНЖК;

– применение в питании биологически активных добавок в виде масляных препаратов и порошков с высоким (до 30%) содержанием ПНЖК  $\omega$ -3;

– получение и применение в питании купажированных растительных масел с требуемым содержанием и соотношением кислот  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3;

– использование купажированных растительных масел в производстве широкого спектра продуктов питания.

В связи с этим, целью данной работы было создание купажей растительных масел с оптимизированным соотношением ПНЖК и исследования их физико-химических показателей в процессе хранения.

Для изготовления растительных масел используется около 300 растений. Из них широко применяются семена масличных: рапс, подсолнечник, кукуруза. Особый интерес составляет использование сырья с высокой биологической ценностью высоким содержанием  $\omega$ -3 жирных кислот: тыква, лен, рыжик, горчица и др.

В работе для составления купажей были использованы масла, являющиеся источником ПНЖК: тыквы, льна и рыжика.

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  $\omega$ -6 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  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 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.

Исходя из цели работы, были сформулированы следующие задачи:

- изучить жирно-кислотный состав растительных масел,
- составить купажи со сбалансированным жирно-кислотным составом,
- исследовать физико-химические показатели купажей (перекисное и кислотное числа),
- изучить изменение физико-химических показателей купажей в процессе хранения [1].

Содержания ПНЖК в образцах исследуемых масел определяли 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.

Компоненты купажей идентифицированы с использованием эталонных смесей жирных кислот Restek 35077 и Restek 35079, а также по индексам удерживания на основе литературных данных. Количество жирных кислот в исследуемых образцах определяли методом внутренней нормализации с использованием программного обеспечения Unichrome®.

Исходя из результатов исследований, были изготовлены тыквенно-рыжиковые и тыквенно-льняные купажи. Объекты оставлены на ответственное хранение, в процессе которого производили исследования кислотного и перекисного чисел. Перекисное число купажей растительных масел изучали титриметрическим методом по СТБ ГОСТ Р 51487. Кислотное число купажей растительных масел определяли титриметрическим методом по ГОСТ 5476.

Изменение перекисных и кислотных чисел имело неоднозначный характер: к 6 мес. хранения происходило снижение кислотного и увеличение перекисного чисел. Форма данных графиков обусловлена сложным механизмом образования и распада соединений перекисного характера, а также кинетикой данного процесса: сначала идет накопление веществ с перекисными мостиками, затем они постепенно разрушаются.

Таким образом, в результате проведенных исследований купажи с оптимизированным жирно-кислотным составом, которые имеют приятный вкус и могут быть использованы для изготовления продуктов. Исследовано изменение значений кислотного и перекисного чисел в процессе хранения. Показано, что величины этих характеристик изменяются сложным образом, что указывает на сложный механизм окисления ПНЖК в процессе хранения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жировые продукты для здорового питания. Современный взгляд / Л. Г. Ипатова [и др.]. М.: ДеЛи принт, 2009. 396 с.

УДК 577.164.121

Студ. Д.А. Довгяло, Н.С. Голубович, Э.В. Ославская

Науч. рук. доц. О.В. Стасевич

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

### РИБОФЛАВИНА В ГРЕЧКЕ

Рибофлавин – это один из важных витаминов группы В (рисунок 1), в коферментной форме он является переносчиком 2-ух восстановительных эквивалентов, т.е. водородов, и катализирует важнейшие биохимические процессы [1].

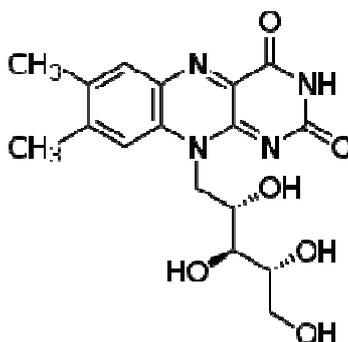


Рисунок 1– Структура рибофлавина

Этот витамин не синтезируется в организме человека и должен поступать вместе с продуктами питания. Он входит в состав растительных и животных клеток. Среди растительных продуктов большое количество рибофлавина содержится в зерновых, являющихся удовлетворительным источником этого витамина: в хлебе «Бородинский» – 0,31 мг/100 г, в гречневой крупе – 0,2 мг/100 г и многих других продуктах питания [2].

Стандартными методами определения рибофлавина в продуктах питания и кормах, являются хроматографический и флуориметрический [3, 4]. Однако, первый из них является дорогостоящим и требует высокой квалификации персонала, а флуориметрический метод предусматривает использование специального оборудования – флуориметра, который не является широко доступным на предприятиях продовольственного комплекса. Поэтому в данном исследовании было апробировано использование фотометрического метода определения рибофлавина, так как фотометры являются широкодоступным оборудованием.

Целью работы является определение рибофлавина в гречке фотометрическим методом.

Объектом исследования являлась гречка «Виталюр», приобретенная в торговой сети.

Процесс выделения рибофлавина из гречки включал в себя следующие стадии [5]:

- 1) измельчение навески анализируемого растительного материала (1 г);
- 2) растирание измельченного материала в фарфоровой ступке с добавлением 15 мл 0,1 н раствора HCl до гомогенного состояния;
- 3) количественный перенос гомогенизата и доведение объема смеси 0,1 н раствором HCl до 100 мл в мерной колбе;
- 4) экстракция рибофлавина из гречки и разрушение пигментов на водяной бане в течение 45 мин при перемешивании;
- 5) охлаждение экстракта и его фильтрование с помощью бумажного фильтра.

Далее производили определение оптической плотности анализируемого раствора на спектрофотометре «ScanDrop<sup>2</sup>» при 445 нм, которая составила 0,06 единиц оптического поглощения.

Количественное определение концентрации рибофлавина в полученном экстракте гречки осуществляли методом градуировочного графика, который был построен по стандартным растворам рибофлавина с концентрациями 1; 2,5; 10; 20 мкг/мл (рисунок 2).

Концентрация рибофлавина, найденная по градуировочному графику, составила 1,769 мкг/мл.

Количественное содержание рибофлавина в гречке (X, мг/г) рассчитывали по формуле

$$X = \frac{C \cdot V \cdot 10^{-2}}{m},$$

где C – концентрация рибофлавина, найденная по градуировочному графику, мкг/мл; V – объем мерной колбы, мл; m – масса гречки, г.

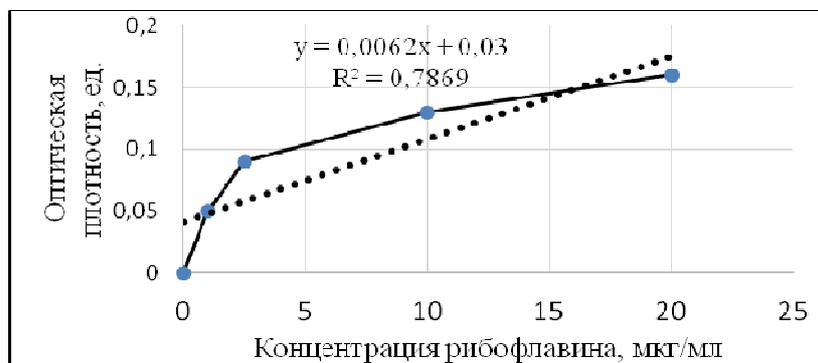


Рисунок 2 – Зависимость оптической плотности от концентрации рибофлавина

Таким образом, концентрация рибофлавина в гречке составила 0,1769 мг/г, как видно из литературных данных [2], концентрация рибофлавина в гречке составляет  $0,2 \cdot 10^{-2}$  мг/г, что в 100 раз меньше полученного значения. Это говорит о том, что спектрометрический метод не является специфическим, и в присутствии других компонентов в экстракте гречки, поглощающих при той же длине волны (например, пигментов, которые не полностью разрушились при нагревании с кислотой), дает завешенные результаты.

Таким образом, было выявлено, что спектрофотометрический метод не является специфическим и не может быть применим для анализа рибофлавина в экстрактах растительного сырья.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Химия биологически активных веществ : электронный курс лекций для студентов специальности 1-48 02 01 «Биотехнология» / В.Н. Леонтьев, О.С. Игнатовец. – Минск: БГТУ, 2013. – 151 с.
2. 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.
3. Методы определения витаминов группы В: ГОСТ 32042-2012. – Введ. 03.12.2012. – Межгосударственный совет по стандартизации метрологии и сертификации, М: Стандартинформ, 2014. – 20 с.
4. Продукты пищевые. Определение витамина В2 с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии: ГОСТ EN 14152-2013. – Введ. 05.05.2013. – Межгосударственный совет по стандартизации метрологии и сертификации, М: Стандартинформ, 2014. – 21 с.
5. Чупахина, Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений: практикум / Г.Н. Чупахина. – Калининград: Изд-во КГУ, 2000. – 59 с.

УДК 577.112

Студ. М.С. Глазко, Д.С. Бруневская  
Науч. рук. ассист. Е.Н. Зеленкова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

### **МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЛКА В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ**

Исключительно важным пищевым нутриентом для жизнедеятельности человеческого организма является белок. В желудочно-кишечном тракте человека белки растительного и животного проис-

хождения в результате гидролиза превращаются в аминокислоты. Аминокислоты, в свою очередь, являются основными элементами для формирования тканей, в том числе и мышц.

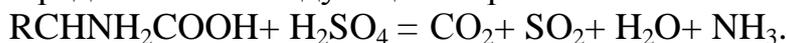
Как известно, белки – это высокомолекулярные органические соединения, которые состоят из 20  $\alpha$ -аминокислот в определенных комбинациях, соединенных пептидной связью в цепочку. Пищевая продукция, содержащая белок, делится на две большие категории:

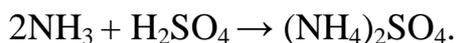
– растительные продукты, в которых содержится белок. Протеины, которые находятся в растительной пище, отличаются не полным составом аминокислот. Поэтому часто растительные белки называются неполноценными. Растительные протеины дольше усваиваются, обеспечивая организму на протяжении длительного времени чувство сытости. К группе растительных продуктов богатых белком относятся бобовые культуры, зерновые культуры, овощи, грибы, орехи и семена, фрукты и сухофрукты.

– продукты животного происхождения, в которых содержится белок. Протеин животного происхождения отличается более полным составом аминокислот, поэтому такие белки часто называют полноценными. Животные белки лучше растительных усваиваются организмом, поддерживая функциональность жизненно важных органов. Именно животные протеины принимают участие в синтезе нервных клеток, поэтому их дефицит делает человека более восприимчивым к стрессовым факторам. Группами продуктов, в каких содержится белок животного происхождения, являются яйца, мясо, мясные изделия и субпродукты, рыба и морепродукты, молоко и продукты переработки [1].

Поскольку белки являются одним из основных нутриентов, определяющих пищевую ценность продуктов, а также могут служить критерием фальсификации некоторых пищевых продуктов, например, молочных, важно контролировать их количество. Массовую долю белка в пищевых продуктах определяют методом Дюма, нефелометрическим, рефрактометрическим и методом Кьельдаля. Последний является официально признанным арбитражным методом.

Метод Кьельдаля основан на минерализации пробы в установке для минерализации с концентрированной серной кислотой в присутствии катализатора с образованием сульфата аммония, разрушении сульфата аммония в щелочной среде с выделением аммиака, отгонке аммиака водяным паром в раствор борной кислоты с последующим обратным титрованием последнего раствором соляной кислоты и пересчетом на содержание азота. Схематично происходящие реакции могут быть представлены следующим образом:





Стандартизованные методы определения белка дифференцированы на следующие категории пищевых продуктов: ГОСТ 23327 «Молоко и молочные продукты. Метод измерения массовой доли общего азота по Кьельдалю и определение массовой доли белка», ГОСТ 31475 «Мясо и мясные продукты. Определение массовой доли растительного (соевого) белка методом электрофореза», ГОСТ 34454 «Продукция молочная. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля», ГОСТ ISO/TS 17837 «Продукты сырные плавленые. Определение содержания азота и расчет содержания общего белка. Метод Кьельдаля», ГОСТ 34111 «Продукция соковая. Определение содержания азота методом Кьельдаля». В настоящее время лаборатории оснащаются современным оборудованием, происходит автоматизация процесса проведения испытаний. Это требует адаптации существующих стандартизованных методов. В связи с этим целью работы была модификация методов определения белка в некоторых пищевых продуктах. Объектами исследования были представители соковой, хлебобулочной, мясной и молочной продукции, а именно:

- образец №1 – сок томатный «Сочный» с солью произведенный ООО «Оазис Групп»;
- образец №2 – булка «Тостовая» ООО «Евроторг»;
- образец №3 – колбаса вареная из мяса птицы «Докторская особая» ОАО «Минский мясокомбинат»;
- образец №4 – сметана «Брест-Литовск» с массовой долей жира 15 % ОАО «Савушкин продукт».

В отобранных образцах пищевой продукции определяли массовую долю белка по количеству общего азота методом Кьельдаля на аппарате Кьельдаля АТН-300 с использованием дигестора DW-KDN-08D, системы нейтрализации отработанных газов модель НР-01 и автоматического титратора dTrite. Стандартизованные методики были модифицированы в части минерализации пробы (таблица 1) и перегонки (таблица 2).

**Таблица 1 – Условия проведения минерализации образцов**

Условия минерализации	Образец			
	№1	№2	№3	№4
Масса навески, г	10–20	2	2–3	1–2
Объём H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , см <sup>3</sup>	7–10	10	10	10
Катализатор в табл., шт.	1	1	1	1
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> конц, см <sup>3</sup>	2	10	0.8	10
Температурный режим	Нагреть до 200 °С, после выдерживания в течении 15 мин установить температуру 400 °С и продолжать минерализацию до полного сжигания образца			

Таблица 2 – Условия проведения перегонки

Режим перегонки	Образец			
	№1	№2	№3	№4
Вносимое кол-во H <sub>2</sub> O, см <sup>3</sup>	20	30	30	30
Вносимое кол-во NaOH, см <sup>3</sup>	50	50	40	50
Вносимое кол-во H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , см <sup>3</sup>	30	20	20	20
Время перегонки, мин	4–5			

В результате исследования были получены данные, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание белка в исследуемых образцах

Количество белка, г	Сок томатный «Сочный»	Булка «Гостовая»	Колбаса «Докторская. Особая»	Сметана «Брест-Литовск»
Фактическое	0,9	7,4	6,4	2,0
Нормируемое / указанное на маркировке	1,0	7,3	6,6	2,7

Так как полученные фактические значения содержания белка в исследуемых образцах близки к нормируемым, то можно сделать вывод: модифицированный метод Кьельдаля рекомендован для определения белка в пищевых продуктах. Несколько заниженное значение белка в сметане можно объяснить потерями при минерализации, что свидетельствует о необходимости дополнительных исследований и корректировке режимов анализа для данного продукта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нечаев, А.П. Пищевая химия. Учебник. 2-е издание, переработанное и исправленное / А.П. Нечаев // – СПб.: ГИОРД, 2003. – 640 с.

УДК 615.014

Студ. И.Н. Антонович

Науч. рук. доц. Н.И. Заяц

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

#### **ПРОВЕДЕНИЕ ОБЗОРА КАЧЕСТВА ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ НА СОАО «ФЕРЕЙН»**

Действующее в Республике Беларусь предприятие «Ферейн» построено на базе УП «Диалек» и является подразделением Российского фармакологического предприятия «Ферейн». Предприятие осу-

ществляет промышленное производство лекарственных средств и их оптовую реализацию.

Наибольшая часть выпускаемой на предприятии продукции – инъекционные лекарственные средства, некоторые из них выпускаются в Республике Беларусь лишь на данном предприятии. Также увеличивается объём выпуска спиртосодержащих препаратов: настоек боярышника, валерианы, сердечных капель и др.

Для обеспечения соответствия производства и продукции требованиям нормативных документов (прежде всего ТКП 030-2017 «Надлежащая производственная практика» и ТКП 428-2012 «Производство лекарственных средств», Международных стандартов ИСО) на предприятии осуществляется контроль функционирования системы обеспечения и управления качеством, включающий:

- проведение самоинспекций (аудитов);
- проведение обучения персонала;
- контроль и работа с изменениями производственного процесса;
- разработку, актуализацию документации по производству и контролю качества процессов и продукции;
- анализ, оценку, архивирование Досье на серию лекарственного средства;
- планирование и выполнение корректирующих и предупреждающих действий;
- регистрацию лекарственных средств и субстанций;
- управление внешней нормативной документации на предприятии;
- контроль эффективности, безопасности и качества лекарственных средств;
- аудит и утверждение поставщиков сырья и материалов;
- проведение аттестации помещений, инженерных систем и технологического оборудования;
- организацию проверки, аттестации средств измерений и испытательного оборудования;
- проведение обзора качества лекарственных средств;
- осуществление анализа управления рисками.

Таким образом, одним из важнейших методов контроля за производством лекарственных средств является анализ качества (обзор качества) лекарственных средств.

Обзор качества лекарственных средств на предприятии СООАО «Ферейн» проводится один раз в год по всем сериям лекарственных средств, выпущенных предприятием за анализируемый

период. Он включает в себя анализ качества ЛС по следующим показателям:

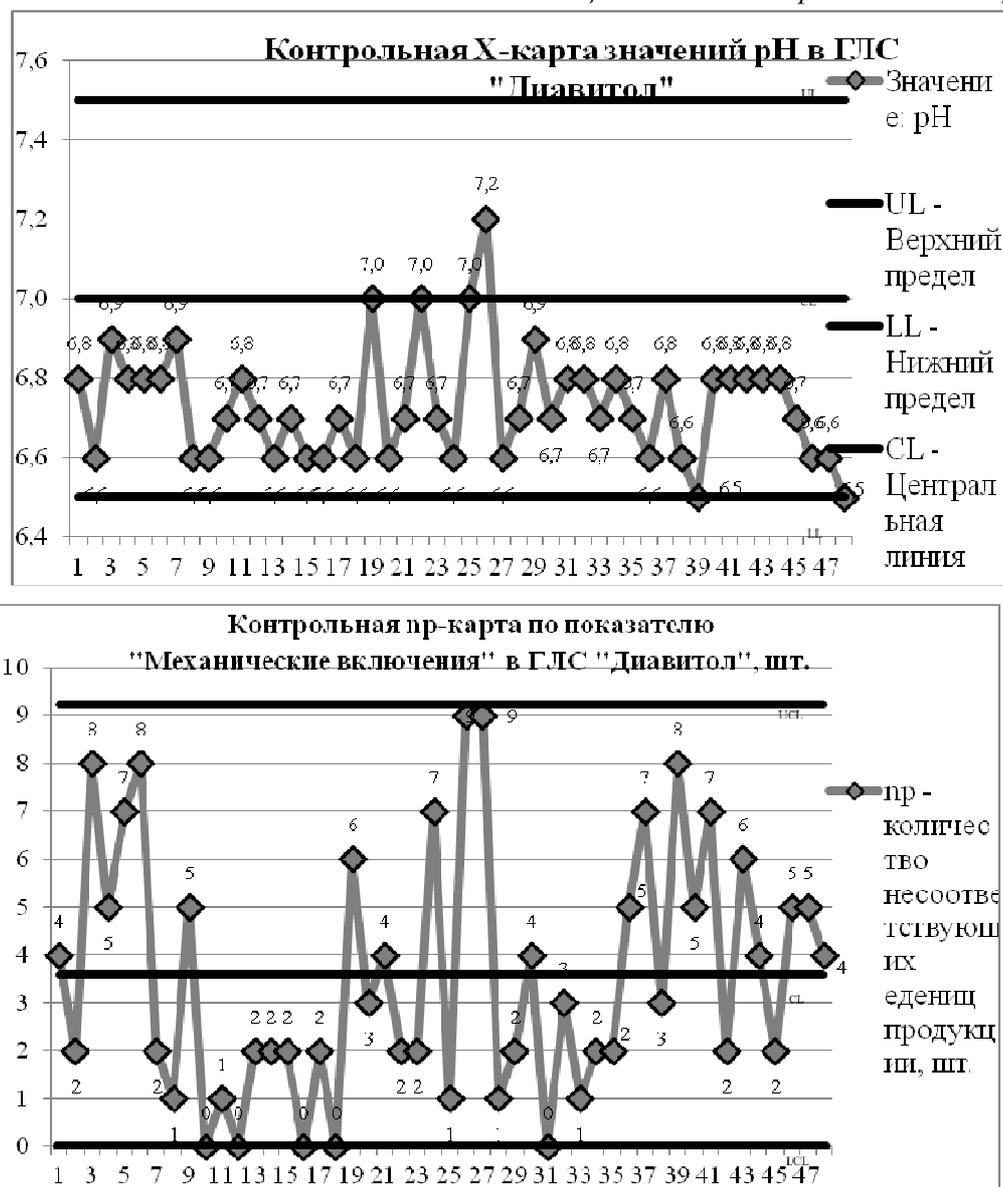
- произведённый объём за год;
- исходное сырьё и первичные упаковочные материалы;
- результаты контроля критических точек в процессе производства и контроля готовой продукции;
- результаты контроля перепада давления в чистых помещениях;
- результаты контроля критических точек на стадии приготовления и розлива;
- вывод о результатах соответствия лекарственного средства нормативной документации.

По результатам такого анализа разрабатываются план корректирующих мероприятий на следующий год.

Анализ обзора по качеству лекарственных средств, позволяет судить: о стабильности и отлаженности процессов, о возможности ужесточения параметров при контроле лекарственного средства; о техническом состоянии оборудования; контролировать и оценивать работу персонала; способствует улучшению качества выпускаемой продукции и др.

Для анализа производственных процессов на предприятии были внедрены статистические методы: контрольные карты Шухарта и гистограммы. В частности используются карты индивидуальных и средних значений, размахов и скользящих размахов, числа несоответствующих единиц и др. Они используются для анализа стабильности процессов производства, розлива, упаковки лекарственных средств и определения соответствия показателей качества установленным требованиям.

На рисунках представлены две контрольные карты, которые использованы для контроля за значениями рН и количеством несоответствующих единиц продукции по показателю «механические включения» в лекарственном средстве «Диавитол», которые указывают на стабильность процесса производства и соответствие анализируемых показателей требованиям.



Рисунок

Таким образом, анализ качества и использование для этих целей статистических методов способствует достижению стратегической задачи предприятия – обеспечения потребителей качественными и безопасными лекарственными средствами по доступным ценам.

УДК 544.726; 544.032

Студ. О.А. Плешевеня, А.А. Ермакович  
Науч. рук. проф. Л.Н. Москальчук

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

### **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РУП ПО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»**

Добываемые на Старобинском месторождении калийные руды в целом характеризуются достаточно низким содержанием КС1 (23,0–28,7%) и повышенной концентрацией нерастворимых в воде примесей (3,9–5,6 %). В настоящее время на обогатительных фабриках РУП ПО «Беларуськалий» применяется в основном флотационный метод, в частности на 1, 2 и 3 рудоуправлениях (РУ), и в меньшей степени галургический (химический) (4 РУ).

Флотационный метод основан на различной способности отдельных минералов, входящих в состав сильвинитовой руды смачиваться водой или насыщенными растворами солей. Флотация (от английского слова flotation – всплывание) галита из калийных руд впервые была осуществлена в США в 1934 году, и в настоящее время во всем мире этим методом получают около 50 % калийных удобрений. Технологический процесс, с переводом в пенный продукт хлористого калия, предусматривает: диффузию в растворе и селективную сорбцию собирателя на поверхности солевого минерала; закрепление минеральных частиц на пузырьках пульпы; образование минерализованной пены и вынос ее на поверхность в виде концентрата.

Технологические схемы обогащения калийных руд состоят из следующих основных технологических операций:

- измельчение руды (с целью раскрытия зерен сильвинита);
- предварительное удаление из руды глинистого шлама;
- основная флотация с перечисткой полученного концентрата;
- обезвоживание концентрата, шламов и хвостов;
- складирование галитовых отходов и глинисто-солевых шламов;
- осветление и возвращение в технологический процесс оборотного насыщенного раствора.

Эта технология значительно усложняется при переработке руд с повышенным содержанием глинистых шламов (при содержании н. о. более 3–4%), оказывающих существенное влияние на степень извлечения КС1 из руды, качество калийных концентратов, способы обезвоживания и т.д. Повышенное содержание н.о. требует дополнительных технологических операций для удаления и обработки шламов. В настоящее время при выборе оптимальной технологии обесшламливания предпочтение отдают многостадийным схемам переработки руды

(комбинация механического и флотационного методов), позволяющим повысить извлечение шламов с 60 до 80 % [1].

Принципиальной основой технологических схем для переработки сильвинитовых руд Старобинского месторождения (н.о. 4–8 %) является разработанный Всероссийским институтом гидротехники (ВНИИГ) метод депрессии глинистых шламов карбоксиметилцеллюлозой (NaКМЦ). Расход реагентов на 1 т сильвинитовой руды составляет соответственно 450, 70, 15 и 50 г. Свежей технической воды расходуется 0,6 м<sup>3</sup>, электроэнергии – 74 кВт·ч. Расход руды на 1 т калийного концентрата (в пересчете на 95% KCl) составляет 5,2 т (при стандартном содержании KCl в руде – 22%). Флотационное обогащение сильвинитовых руд имеет ряд существенных недостатков, основные из которых следующие:

1) содержание KCl в концентратах-удобрениях составляет 90,5–92,5%, что не соответствует уровню мировых стандартов (95–96 %) и снижает экспортный потенциал РУП ПО «Беларуськалий» (особенно неэффективно флотируются тонкие фракции сильвинита – 0,05 мм);

2) галитовые отходы насыщены аминами, что затрудняет практическое решение проблемы их утилизации с целью производства пищевой поваренной соли и кормовой соли для животноводства.

Вышеприведенных недостатков лишен галургический метод обогащения сильвинитовых руд, в основу которого положены процессы растворения и кристаллизации солей из водных растворов. Галургический (химический) метод переработки сильвинита известен давно, более 100 лет. Он предусматривает выщелачивание KCl из руды обратным раствором (при температуре около 100 °С) и его последующую кристаллизацию при охлаждении. Технологические процессы галургического метода учитывают природу, термодинамику и кинетику фазовых превращений в системе KCl-NaCl-H<sub>2</sub>O и ее подсистемах KCl-NaCl, KCl-H<sub>2</sub>O и NaCl-H<sub>2</sub>O.

Технологическая схема включает следующие основные стадии:

- 1) дробление сильвинитовой руды;
- 2) извлечение в раствор KCl выщелачиванием сильвинита горячим растворяющим щелоком;
- 3) отделение от раствора твердого галитового остатка и его промывка для снижения потерь KCl;
- 4) выделение твердых примесей (солевого и глинистого шлама) из горячего щелока, насыщенного KCl и NaCl;
- 5) противоточная промывка глинистого шлама горячей водой для снижения потерь KCl;
- 6) охлаждение осветленного щелока с целью кристаллизации KCl

и одновременного использования тепла горячего раствора для подогрева растворяющего щелока;

7) отделение кристаллов KCl от маточного раствора (с обработкой для снижения их слеживаемости);

8) сушка кристаллического KCl;

9) нагрев маточного раствора для подачи на последующее выщелачивание;

10) удаление и складирование отходов – галитового материала и глинистого шлама (или их утилизация);

11) гранулирование хлористого калия – концентрата, используемого в качестве минерального удобрения.

Для кристаллизации KCl из раствора используется его охлаждение до 20–30 °С путем самоиспарения воды под вакуумом. С целью получения более крупных кристаллов KCl необходимо медленное охлаждение раствора, что практически осуществляется на многоступенчатых вакуумкристаллизационных установках (ВКУ). Конечный продукт химического обогащения сильвинитовых руд содержит до 98 % KCl и всего лишь 0,5–1,0 % влаги (содержание NaCl составляет 1–3 %). Извлечение KCl в продукт составляет 86 %, на 2–5% выше, чем при флотационном обогащении калийных руд. Расход сырья, энергии и материалов при галургическом методе на 1 т кристаллического KCl следующий: руда (22% KCl) – 4,8 т; реагенты (в сумме) – 0,45 кг; топливо (мазут) – 7 кг; пар – 0,38 Мкал; электроэнергия – 21,1 кВт·ч; вода – 8,6 м<sup>3</sup>. Следует заключить, что по сравнению с флотационным обогащением галургический метод характеризуется более низким расходом руды, химических реагентов и электроэнергии на производство 1 т концентрата, но сопровождается более значительным расходом воды. Тем не менее этот метод обеспечивает получение высококачественных минеральных удобрений (96–98 % KCl) и, что не менее важно, предопределяет возможность более полного извлечения калия из руды и, следовательно, комплексного использования запасов природного минерального сырья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ОАО «Беларуськалий». Производство/ Технологии обогащения [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <https://kali.by>. Дата доступа : 20.04.2019.

2. Экологический бюллетень за 2015 год. Глава 11. Отходы/Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [http://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/ glava-11-otxody.docx](http://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/glava-11-otxody.docx) / Дата доступа: 20.04.2019.

УДК 543.552.054.1 : 664.863

Студ. Н.П. Шаринская, Е.Ю. Стрелец

Науч. рук. доц. Е.В. Дубоделова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **МОНИТОРИНГ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В БЕЗАЛКОГОЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Токсичные элементы в виде металлов с атомной массой превышающей 50 а.е.м. относятся к основным загрязнителям окружающей среды и поэтому подлежат контролю и государственному надзору [1]. К ним относятся медь, хром, цинк, молибден, марганец, свинец, кадмий, никель, мышьяк, ртуть, которые могут оказывать вредное воздействие на организм человека, способны накапливаться в тканях, вызывая ряд заболеваний. Однако для функционирования растений, животных и человека такие металлы как медь и цинк в определенных количествах являются необходимыми микроэлементами, участвующими в биологических процессах [2]. Свинец и кадмий – это высоко опасные вещества, которые необходимо исключать из рациона питания, по рекомендациям ВОЗ. Известно также, что повышенное содержание этих элементов может быть результатом некачественной очистки воды используемой в производстве безалкогольных напитков.

Распространенные на рынке ЕАЭС безалкогольные напитки требуют особого внимания и контроля на предмет содержания токсичных элементов. Для этого необходимы методы, позволяющие совместно определять несколько элементов одновременно без затрат на это большого количества времени. Поэтому целью работы являлась разработка рекомендаций по выбору методов определения свинца, кадмия, меди и цинка в безалкогольных напитках и мониторинг токсичных элементов в безалкогольной продукции, отобранной с рынка случайным образом. Предметом исследования были такие элементы, как свинец, кадмий, цинк и медь. Характеристика данных элементов представлена в таблице 1.

Объекты исследования: лимонад со вкусом мандарина (объект 1), лимонад со вкусом ананаса (объект 2), лимонад с экстрактом эстрагона (объект 3), лимонад со вкусом лимона (объект 4), лимонад крем-сода (объект 5) и квас (объект 6).

Проанализировав методы индивидуального определения токсичных элементов, приведенные в ТНПА (таблица 1), можно сделать вывод, что более перспективным и безопасным методом их совместного определения в продуктах питания является инверсионная вольтамперометрия. Он заключается 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 неорганических веществ до 10-11 моль/дм<sup>3</sup>, и лежит в основе метода инверсионной вольтамперометрии. В настоящее время данный метод стандартизирован и изложен в ГОСТ Р 51301-99 «Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрические методы определения элементов (кадмия, свинца, меди и цинка)», который действует и в Республике Беларусь и может быть применен для большого диапазона пищевых продуктов, в том числе для безалкогольной продукции. При этом расшифровка полученной вольтамперограммы осуществляется с использованием компьютерной программы, что значительно ускоряет процесс обработки полученных результатов [3].

**Таблица 1 – Характеристика свинца, кадмия, меди и цинка**

Элемент	Класс опасности	Содержание в природе	Влияние на организм человека	Метод индивидуального определения
свинец	II	растительные и животные продукты	дезактивация ферментов, замедление развития детей, увеличение кровяного давления, сердечно-сосудистые заболевания	ГОСТ 26931 Сырье и продукты пищевые. Методы определения меди
кадмий	II	какао-порошок, почки животных, рыба,	поражение ЦНС, дисфункция половых органов	ГОСТ 26932 Сырье и продукты пищевые. Методы определения свинца
медь	III	печень животных, орехи, зерновые и бобовые культуры, морепродукты	участвует в синтезе миоглобина, обмене ферментов, витаминов, гормонов; избыток – цирроз, деструктивные процессы в мозге; недостаток – усиление йодной недостаточности, нарушение костеобразования	ГОСТ 26933 Сырье и продукты пищевые. Методы определения кадмия;
цинк	III		играет важную роль в метаболизме РНК и ДНК, метаболизме липидов и белков; избыток приводит к развитию болезненной чувствительности желудка и тошноты, неврологического расстройства	ГОСТ 26934 Сырье и продукты пищевые. Метод определения цинка

Результаты испытаний образцов безалкогольной продукции методом инверсионной вольтамперометрии, а также нормирование содержания в данном образце токсичного элемента представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения токсичных элементов

Образец	Обнаруженные элементы	Содержание металла в образце, мг/кг	Нормирование содержания металла, мг/кг
1	свинец	0,17	0,30
2	свинец	0,48	0,30
	медь	0,28	0,30
3	свинец	0,15	0,30
	медь	0,03	0,30
4	медь	0,40	0,30
	свинец	0,04	0,30
5	свинец	0,10	0,30
	кадмий	0,13	0,03
6	свинец	0,76	0,30
	медь	0,39	0,30

В анализируемых образцах выявлено наличие меди, свинца и кадмия (таблица 2). При этом не все результаты находятся в допустимой области. Это может объясняться тем, что основными источниками поступления в продукты питания рассматриваемой группы токсичных элементов является загрязненная вода и воздух, что связано с нарушением правил применения ядохимикатов при внесении удобрений в почвы. Также источником повышенного содержания свинца и кадмия в продуктах питания может являться и используемая при производстве и хранении жестяная тара.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно рекомендовать метод инверсионной вольтамперометрии для совместного определения свинца, кадмия, меди и цинка к широкому применению в производственном контроле выпускаемых на территории ЕАЭС безалкогольных напитков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Теплая, Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды / Г. А. 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.И. Сульдина // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. – 2016. – № 1. – С. 136–140.
3. 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 006.032(100)(476)

Студ. Ю.С. Война, И.С. Сербин, А.В. Стрибуть

Науч. рук. доц. А.Н. Никитенко, доц. С.А. Ламоткин

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **МЕЖДУНАРОДНЫЕ И НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРАВИЛА GMP**

Правила организации и производства, преобразованные в Правила надлежащей производственной практики, впервые были опубликованы Федеральным управлением по контролю за пищевой продукцией и лекарствами США (FDA) в 1940-х гг. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) Генеральной ассамблеи здравоохранения подготовила рекомендации по применению правил надлежащей производственной практики (GMP – good manufacturing practice) в 1969 г.

В ряде стран изданы законы о процедурах управления и контроля при изготовлении лекарственной продукции. В некоторых странах GMP встроены в национальное законодательство в виде законов, правил регулирования производства, распределения, применения лекарственных продуктов (руководства GMP) [1].

Также в отдельных случаях GMP представляют собой руководящие документы, входящие в национальное законодательство (Правила GMP). Некоторые международные организации и союзы подготовили специальные международные правила GMP для гармонизации требований к лекарственным препаратам.

Основная задача правил GMP состоит в обеспечении соответствия параметров безопасности, идентичности и качества произведенных лекарственных продуктов заявленным значениям. Большинство правил GMP включают требования связанные с обеспечения качества, надлежащей производственной практикой при производстве фармацевтических продуктов, санитария и гигиена, квалификацией и валидацией, претензиями, отзывом продукции, контрактным производством и анализом, самоинспекцией и аудитами, персоналом, обучением, гигиеной, зданиями и помещениями, оборудованием, материалами, документацией, надлежащая производственная практика, в т.ч. контроля качества, правил отбора, активных фармацевтических ингредиентов, вспомогательных веществ, стерильных и биологических продуктов, в т.ч. для клинических испытаний, радиофармацевтических продуктов, воды.

Правила GMP установлены на международном, региональном и национальном уровне. Регламентация национальных требований GMP отражена в таблице.

Таблица – Национальные правила и требования GMP

Страна	Регламентирующий документ	Требования
США	Федеральный закон	Лекарственный продукт считается некондиционным, если методы или оборудование, используемые для производства не соответствуют правилам GMP
Канада	Закон	Дистрибьюторы и импортеры не имеют права продавать лекарственный продукт, если он не произведен в соответствии с требованием GMP
Япония	Закон	Все производители лекарств должны обладать лицензией на производство лекарств и обеспечить соответствие правилам GMP
Южная Корея	Закон	Производитель лекарств должен получить одобрение уполномоченного Управлением по контролю за пищевой продукцией и лекарствами Кореи, т.е. должен доказать соответствие производственных стандартов правилам GMP
КНДР	Закон	Производитель должен вести в соответствии с правилами GMP для фармацевтических продуктов, составленными Департаментом регулирования лекарств при Государственном Совете на базе Закона об управлении лекарственными средствами
Австралия	Закон	Лекарственные продукты должны производиться в соответствии с Правилами Австралии о надлежащей производственной практике для медицинских продуктов
Новая Зеландия	Закон	Производитель лекарств не имеет права изготавливать лекарственные продукты без лицензии на производство, выдаваемой лицензирующими органами
Южная Африка	Закон	Лицензия может выдаться производителю лекарств на условиях обеспечения производителем принципов обеспечения качества и правил GMP, решение о соответствии принимает Совет
Европейский Союз	Директивы ЕС/EU	Владелец лицензии на производство медицинской продукции должен обеспечить соответствие правилам надлежащей производственной практики
Индия	Правила производства	Держатель лицензии на производство лекарств обеспечивает соответствие производства требованиям GMP

В Республике Беларусь действуют национальные правила GMP, которые гармонизированы с международными. Требования белорусских правил GMP разработаны на основе руководства по GMP Европейского Союза, Конвенции по фармацевтическим ин-

спекциям ВОЗ, при их разработке также учтены правила GMP Украины, России и США.

Закон Республики Беларусь «О лекарственных средствах» включает, в т.ч. выполнение требований государственных стандартов и кодексов надлежащих практик Республики Беларусь. Исполнение требований документов носит обязательный характер, т.к. конечный потребитель самостоятельно не может оценить качество лекарственного средства, за исключением опасных случаев. При этом нормативно-правовые акты, связанные с утверждением и изложением правил GMP, носят законодательный и обязательный для исполнения характер. При выполнении правил GMP необходимо соблюдение предписанных указаний на всех этапах промышленного производства: от момента поступления исходного сырья и упаковочных материалов на предприятие до отгрузки готовой продукции на аптечный склад. Важным элементом при этом является система подтверждения Уполномоченным лицом того, что каждая серия выпущенных лекарственных средств была произведена и проконтролирована согласно действующей нормативной документации.

Анализируя существующие национальные правила, можно сделать вывод о том, что основные требования регламентируются законами (США, Канада, Япония, Южной Корея, КНР, Австралия, Новая Зеландия и Южная Африка), Директивами (Европейский Союз), Правилами (Индия).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гэд, Ш.К. Производство лекарственных средств. Контроль качества и регулирование: практическое руководство / Ш.К. Гэд. – Санкт-Петербург: Профессия, 2013. – С. 159.

УДК 004.42

Студ. А.Д. Будько

Науч. рук. доц. А.Н. Никитенко

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ ПИТАНИЯ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ**

Одним из способов применения саморегулирующих технических средств, экономико-математических методов и систем управления, освобождающих человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования материалов или информа-

ции, существенно уменьшающих трудоёмкость выполняемых операций является автоматизация.

Необходимость организации компьютерного учета продуктов питания и составления меню в учреждениях образования и автоматизации процесса организации питания в учреждениях образования обусловлена приказом Министерства образования Республики Беларусь № 74 от 12.02.2013 г. Согласно требованиям, все учреждения образования, обеспечивающие получение дошкольного, а также среднего образования должны конца 2018 г. внедрить программные средства, обеспечивающие автоматизацию процессов, относящихся к составлению меню и ведению складского учета.

До внедрения программных решений, процесс составления меню представлял собой последовательные расчеты, выполняемые вручную и последующим занесением записей на бумажных носитель.

В зависимости от фактической ситуации в регионе должны быть приняты согласованные решения между руководителями организаций здравоохранения и учреждений образования по всем вопросам оказания медицинской помощи детям, проведения противоэпидемических мероприятий и организации рационального сбалансированного питания детей.

Перед программой были поставлены задачи: автоматизировать процесс составления меню, складской учет, обеспечить согласованность складского учета при составлении меню, предоставить в необходимом объеме аналитическую информацию о выполнении норм. Для реализации данных задач была разработана ЗАО «МАПСОФТ» электронная система составления меню «Крошка» (далее – ЭССМ Крошка). Система функционирует в 67 районных Отделах по образованию Республики Беларусь из 129 (52 %).

Общий охват программным обеспечением республики приближается к 100 %, однако затруднительна автоматизация удаленных населенных пунктов (деревни, поселки городского типа) из-за не актуализированной материально-технической базы.

Также проблемой является низкая осведомленность кадров в отрасли. На данный момент не существует специализированных обучающих курсов, либо курсов повышения квалификации, которые в должной степени бы способствовали повышению информированности персонала.

В случае, если описанные выше проблемы удастся нивелировать на локальном уровне, то ЭССМ Крошка позволит: сократить время, затраченное на составление меню с 2 ч. до 20 мин.; автоматизировать ведение складского учета, в т.ч. с заменой книги складского учета на

ее электронную версию; осуществлять контроль выполнения натуральных норм без ручных расчетов (Постановление № 317 Совета Министров от 27.04.2013 г.);

– осуществлять контроль выполнения химических норм и норм калорийности без ручных расчетов (Постановление № 180 Министерства здравоохранения от 20.11.2012 г.);

– осуществлять контроль выполнения стоимостных норм без ручных расчетов (Постановление №317 Совета Министров от 27.04.2013 г.);

– осуществлять контроль за соблюдением распределения калорийности суточного рациона (СанПиН №8 от 25.01.2013 г.);

– гарантировать использование только утвержденных ТНПА (сборников технологических карт блюд и кулинарных изделий, рецептур);

– гарантировать сохранность информации;

– гарантировать правильность выполнения расчетов.

В ЭССМ Крошка также предусмотрена возможность предоставления приходных и расходных документов в централизованную бухгалтерию вышестоящей организации в электронном виде. Это позволяет удалённым учреждениям реже предоставлять документы в тех случаях, когда инфраструктура плохо налажена. Также электронных документооборот гарантирует идентичность информации у бухгалтера и кладовщика учреждения.

Заинтересованными лицами в автоматизации организации питания являются инженеры-технологи отделов по образованию. В соответствии с требованиями им необходимо дважды в год составлять примерное меню для учреждений образования, в котором необходимо учесть: натуральные и химические нормы и их сбалансированность (соотношение белков : жиров : углеводов должно составлять 1:1:4); распределение калорийности суточного рациона; расход денежных средств.

ЭССМ Крошка позволяет инженеру-технологу составить примерное меню, сократив время на его составления с нескольких месяцев до нескольких недель, обеспечивая автоматический расчет всей необходимой информации. Также контролирующему сотруднику доступно формирование сводных отчетных форм по учреждениям для мониторинга выполнения требований законодательства.

Вместе с тем, одной из важных функций внедрения программных средств является стандартизация как процессов, направляя их по единому алгоритму, так и отчетных форм, не допуская предоставления

информации в ненадлежащем виде. Не менее важным этапом жизненного цикла программы является ее сопровождение.

Процесс сопровождения охватывает следующие работы: подготовку процесса; анализ проблем и изменений (модификаций); внесение изменений; проверку и приемку при сопровождении; перенос; снятие с эксплуатации.

Исходные данные преобразуют или используют в работах по сопровождению для получения выходных результатов. Рекомендуется проводить соответствующий контроль с целью проверки корректности выходных результатов конкретной работы по сопровождению. Выходными результатами являются соответствующие данные или объекты, создаваемые при выполнении конкретной работы по сопровождению. Схематически процесс сопровождения изображен на рисунке 1.

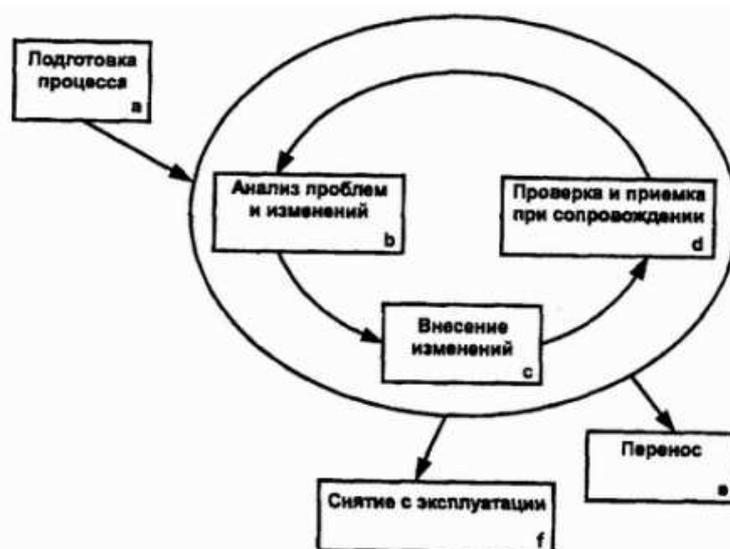


Рисунок 1 – Схема процесса сопровождения программного средства

За все время поддержания жизненного цикла ЭССМ Крошка было обработано и реализовано более 100 предложений от пользователей, а также более 250 предложений от сотрудников компании.

Все доработки программного обеспечения получили положительные отзывы пользователей и дополнительно сократили временные затраты на составление меню.

Решение текущих проблем в ЗАО «МАПСОФТ» и их обработку осуществляет горячая линия Отдела поддержки пользователей. Более 20 квалифицированных специалистов в бухгалтерской отрасли и организации питания оказывают консультации посредством средств связи и современных технологий удаленного управления персональными компьютерами.

Для заочного обучения пользователей всем процессам, которые можно автоматизировать при помощи программы, а также с целью систематизации знаний в области организации питания регулярно актуализируются методические рекомендации, насчитывающие более 110 страниц.

Доступен пользователям также и видеокурс, рассчитанный на аудиовизуальную подачу информации для тех, кто хочет изучить программу, но не хочет тратить время на прочтение рекомендаций. Вся информация доступна для пользователей ЭССМ Крошка круглосуточно по адресу.

Таким образом, современные программы позволяют автоматизировать те расчеты, которые вручную занимали продолжительное время, а также гарантировать их унификацию.

Программы по организации питания выполняют следующие задачи: автоматизация процесса составления меню; автоматизация складского учета; обеспечение согласованности складского учета при составлении меню; предоставление в необходимом объеме аналитической информации о выполнении норм.

Несмотря на существующие возможности, программы не могут полностью исключить человеческий фактор при составлении меню, поэтому ключом к достижению успеха в любой отрасли всегда будет добросовестный труд компетентного специалиста.

Компания-разработчик должна выделять значительное количество ресурсов на поддержание жизненного цикла программного обеспечения, постоянно дорабатывая его, актуализируя под потребности пользователей и изменения требований законодательства. Иными словами, осуществляя процесс сопровождения. Разновидностью поддержки также является составление пользовательских инструкций и выпуск обучающих видео.

Таким образом, автоматизация процесса организации питания в учреждениях образования посредством программных средств позволяет существенно снизить временные затраты персонала, упростить визуализацию расчетов, а для контролирующих органов это всегда возможность получить достоверную информацию о соблюдении норм законодательства.

УДК 637.146.3

Студ. Е.Ю. Стрелец, А.А. Петлицкая

Науч. рук. ассист. Е.Н. Зеленкова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЗАКВАСОЧНЫХ КУЛЬТУР МИКРООРГАНИЗМОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Заквасками называют чистые культуры или смесь культур микроорганизмов, используемых при изготовлении кисломолочных продуктов, кислосливочного масла и сыров. Чаще в качестве заквасок применяют молочнокислые, бифидобактерии и пропионовокислые бактерии, иногда плесневые грибы.

Первоначально в качестве заквасок использовали сквашенное молоко, пахту из-под сливочного масла и кислые сливки. Такие естественные закваски впервые начали применять в маслоделии (1860 г.). Однако при этом не всегда получали масло высокого качества, так как состав микрофлоры был случайным. Первые опыты по использованию чистых культур молочнокислых бактерий были проведены в Дании Шторхом в 1888 году, для которых основополагающими были исследования Пастера (1857), открывшего молочнокислое брожение и его возбудители. В России закваски впервые внедрил в маслодельную промышленность С.А. Северин (1898) – директор Московской бактериолого-агрономической станции. Им же были разработаны способы получения сухих заквасок.

Сначала закваска состояла только из одного вида *Lac. lactis*, поэтому она не обеспечивала полноты вкусового букета, которым обладает высокосортное кислосливочное масло. После 1919 года в состав заквасок начали вводить ароматобразующие стрептококки *Leu. dextranicum* и *Leu. cremoris*. В 1953 году был выделен ароматобразующий молочнокислый стрептококк – *Lac. diacetylactis*, который сообщал закваске выраженный запах. В настоящее время эти микроорганизмы входят в состав заквасок для масла, кисломолочных продуктов и сыров [1].

Заквасочная микрофлора для сыра преобразует основные компоненты молока (лактозы, белков, жира) во вкусовые, ароматические и биологически активные вещества сырной массы, участвует в формировании консистенции, структуры и рисунка сыра, а также подавляет рост опасных для качества сыра и здоровья потребителей микроорганизмов. В настоящее время известно более 2 тыс. наименований сыров, и этот список постоянно пополняется. Тем не менее, существуют определенные предпочтения потребителей, которые побуждают отечественных ученых и производителей вести поиск новых ресурсных,

технологических, аппаратных возможностей для создания сыров с видовыми характеристиками, близкими к таким известным импортным сырам, как швейцарский, маасдам, эдам и др.

Для производства сыров в Республике Беларусь, в основном, используются импортные закваски, что создает определенную зависимость государства от зарубежных поставщиков. В то время как отечественные закваски не так актуальны, как хотелось бы. В связи с этим в работе поставлена цель – провести исследования по определению качественных показателей отечественных заквасок, используемых в сыроделии. В качестве объекта исследований была выбрана «Закваска сухая концентрированная лактококков для сыров СЫР-1 (М)», изготавливаемая РУП «Институт мясо-молочной промышленности» и представляющая собой специально подобранные и лиофиольно высушенные штаммы мезофильных лактококков, с добавлением *Leuconostoc* (*Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *Diacetilactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *Cremoris*, *Leuconostoc lactis*). Предназначена для изготовления ферментативных сыров с низкой температурой второго нагревания (таких как, например, Голландский, Пошехонский). Методы исследований приведены в ТУ ВУ 100377914.485-2000 [2].

Для определения органолептических, физико-химических и микробиологических показателей закваски отбор проб проводили согласно СТБ 1036, пункту 2.5, 2.6 ТУ ВУ 100377914.485-2000.

Результаты исследований представлены в таблице.

**Таблица – Органолептические, микробиологические, физико-химические и биохимические показатели исследуемой закваски**

Наименование показателя	Характеристика или норма	Фактическое значение
1	2	3
Органолептические показатели		
Внешний вид	Однородная порошкообразная масса и (или) гранулы	Однородная порошкообразная масса
Цвет	От светло-кремового до светло-коричневого	Светло-кремовый
Физико-химические, микробиологические показатели		
Количество молочнокислых микроорганизмов в 1 г закваски, КОЕ/г, не менее в том числе ароматобразующих микроорганизмов, %, не менее	$1 \cdot 10^{10}$ $1 \cdot 10^{10}$	$2,25 \cdot 10^{11}$ $4,9 \cdot 10^{10}$ КОЕ/г [ $4,6 \cdot 10^{10}$ ; $5,3 \cdot 10^{10}$ ]

1	2	3
Бактерии группы кишечной палочки в 1 г закваски	Не допускаются	Не обнаружено
Дрожжи и плесневые грибы в 1 г закваски, КОЕ, не более	5 в сумме	1
<i>Staphylococcus aureus</i> в 1 г закваски	Не допускаются	Не обнаружено
Сальмонеллы в 10 г закваски	Не допускаются	Не обнаружено
Активность закваски: Кислотность ферментированного сырья, через 10 ч, °Т, не менее – при инокуляции молока (для производственной закваски)	70	95
Активная кислотность молочного сырья, ферментированного при (30±1) °С, через 6 ч, ед. рН	5,5	-
Ацетоин + диацетил (окрашивание по щелочной пробе), мин, не более	10	-
Углекислый газ при нагревании пробы до 90 °С, мм, не менее	10	-

Из данных таблицы видно, что исследуемый образец закваски характеризуется высоким значением количества молочнокислых и ароматобразующих микроорганизмов, что свидетельствует о ее высокой ароматобразующей способности. При проведении контроля качества заквасочных культур микроорганизмов важно оценить активность закваски и активную кислотность молочного сырья. Сравнение результатов исследования с допустимыми пределами показало, что по всем оцененным показателям «Закваска сухая концентрированная лактококков для сыров СЫР-1 (М)» соответствует установленным требованиям технических условий на данную продукцию, а также ТР ТС 033/2013 «О

безопасности молока и молочной продукции». Таким образом, в соответствии с бюллетенем Международной молочной Федерации (IDF 263) данная закваска может быть рекомендована для производства таких сыров, как, например, Чеддер, Фита, домашний и др.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шульга, Н.М. Заквасочные культуры для производства твердых сычужных сыров: учеб. пособие / Н.М. Шульга. – М.: ТИММ, 2015. – 10 с.
2. Закваска сухая концентрированная лактококков для сыров Сыр-1(М). Технические условия [Текст]: ТУ ВУ 100377914.485–2000 / сост. Н.Н. Фурик. – Введ.12.10.2000. – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2000. – 25 с.

УДК 612.128

Студ. Н.П. Шаринская, П.Л. Крупенко  
Науч. рук. ассист. Е.Н. Зеленкова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНЫХ АКТИВНОСТЕЙ КОММЕРЧЕСКИХ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОВОЩНЫХ СОКОВ**

Ферменты (энзимы) – биологические катализаторы белковой природы, способные во много раз ускорять химические реакции, протекающие в животном и растительном мире. В пищевой промышленности ферментные препараты представляют собой мультэнзимные комплексы и, помимо активного белка, содержат различные балластные вещества. Большое число ферментных препаратов получают в промышленном масштабе с использованием микроорганизмов – активных продуцентов соответствующих ферментов.

Ферментные препараты позволяют значительно ускорять технологические процессы, увеличивать выход готовой продукции, повышать ее качество, экономить ценное сельскохозяйственное сырье. Они используются в пивоварении, виноделии, производстве спирта, хлебопечении, производстве дрожжей, сыра, творога, мясо- и рыбопродуктов, переработке крахмала, производстве белковых гидролизатов и инвертного сиропа и т.д.

Ферментные препараты нашли широкое применение в производстве фруктовых и ягодных соков, но в гораздо меньшей степени при производстве соков овощных. Их использование позволяет решить во-

просы высокого выхода сока, его осветления и стабилизации, корректировки пищевой ценности, предотвращения окислительных процессов в соках и в изготавливаемых из них продуктах. Активность ферментных препаратов зависит от состава овощной матрицы. Для правильного выбора наиболее эффективного ферментного препарата необходимо знать его активность [1, 2]. Поэтому целью данной работы является определение ферментативной активности коммерческих ферментных препаратов, используемых при производстве соков.

Объектом исследования являлись следующие ферментные препараты: Natyzum A Concetrate, Natuzym Max Ultra, Natuzym Extra, Natuzym DP Ultra. Характеристика ферментных препаратов представлена в таблице 1. Методы исследования, использованные в данной работе: определение активностей ферментных препаратов по МВИ МН 3235 – 2009 [3].

**Таблица 1 – Характеристика ферментных препаратов**

Наименование, описание	Дозировка	Режим воздействия
Natyzum A Concetrate – это осахаривающий ферментный препарат с высоким уровнем кислой амилазы, способной гидролизовать крахмал тыквенной мезги в глюкозу в процессе производства сока.	0,2-0,4 г/л	60-120 минут при 50-55 °С
Natuzym Max Ultra – сильная пектиназа, полученная из селектированного штамма <i>Aspergillus niger</i> . Ферментный препарат разработан для быстрого гидролиза растворимого пектина, улучшает прессование фруктов. Содержит такие активные ферменты, как пектин лиаза, полигалактуроназа и пектин эстераза.	0,4-0,6 г/л	45-60 минут при 15-20 °С
Natuzym Extra является концентрированной пектаназой, произведенной путем ферментации из выбранного классического штамма <i>Aspergillus niger</i> . Ферментный препарат содержит большой спектр активностей, таких как рамногалактуроназа, пектинестераза, полигалактуроназа, пектин, лиаза и арабаназа.	1,0-1,5 г/л	60-90 минут при 50-55 °С
Natuzym DP Ultra является высокоэффективной жидкой пектиназой, произведенной из выбранного штамма <i>Aspergillus niger</i> . Продукт обладает активностью такие пектинлиазы, полигалактуроназы, пектинэстеразы, арабаназы, и способен привести к разложению пектина, содержащегося во фруктах для депектинизации и осветления. Активность арабаназы в Natuzym DP Ultra очень высока, чтобы предотвратить пост арабановую мутность в концентрированном соке.	1-3 г/л	60-120 минут при 55-60 °С

По данным, приведенным в таблице 1, видно, что три ферментных препарата находятся в одном, рекомендуемом диапазоне температур

воздействия, и имеют временной интервал в 60 минут. Что позволяет одновременно проводить исследования при определении активностей ферментных препаратов.

В ходе исследовательской работы были определены амилолитическая, ксиланазная, бета-глюканидная, целлюлазная и пектинэстеразная активности ферментных препаратов. Полученные значения сведены в таблицу 2. По полученным данным видно, что три ферментных препарата обладают высокой бета-глюканидной активностью. В то время как ферментный препарат Natuzym A Concentrate обладает более ярко выраженной амилолитической активностью, по сравнению с другими ферментными препаратами (таблица 2).

**Таблица 2 – Значение активностей ферментных препаратов**

Наименование активности	Активность ферментного препарата, ед/см <sup>3</sup>			
	Natuzym Max Ultra	Natuzym DP Ultra	Natuzym Extra	Natuzym A Concentrate
Амилолитическая	15,2	15	15,7	191,8
Ксиланазная	110±17,6	172,1±27,5	192,9±30,9	166±26,6
Бета-глюканидная	413,1±78,9	429,5±70,6	397,9±63,7	82,3±13,2
Целлюлазная	86,1	89,9	50,0	21,5
Пектинэстеразная	147,1	122,6	132,8	171,6

Наибольшее внимание следует обратить на пектинэстеразную активность, поскольку основными субстратами овощной матрицы, которые необходимо расщепить, являются клетчатка и пектиновые вещества. Ферментные препараты Natuzym Max Ultra и Natuzym A Concentrate обладают наибольшей пектинэстеразной активностью, а Natuzym DP Ultra и Natuzym Max Ultra – целлюлозной. Очевидно, что по комплексу целлюлозной и пектинэстеразной активности Natuzym Max Ultra продемонстрировал наилучший результат.

В итоге, сложно сделать однозначный вывод о предпочтительности использования того или иного ферментного препарата для производства овощного сока. Поэтому требуются дальнейшие исследования с целью оценки эффективности воздействия ферментных комплексов на овощное сырье.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крокер, П. Библия соков / П. Крокер. – М.: Эксмо, 2013. – 416 с.
2. Салманова, Л.С. Применение ферментативного катализа в производстве плодово-ягодных, овощных соков и экстрактов из растительного сырья / Л.С. Салманова, Г.Л. Филонова, Т.Н. Соболевская // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1995. – № 2. – С. 38–46.

3. Методика выполнения измерений  $\beta$  глюканазной, ксиланазной, целлюлазной. активностей: МВИ.МН 3235–2009. – Введ. 30.09.09. – Минск: РУП «Бел. гос. ин-т метрологии», 2009. – 36 с.

УДК 664.843.526.3:006.354

Студ. М.С. Глазко

Науч. рук. доц. З.Е. Егорова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

### **РАЗРАБОТКА НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ ОГУРЕЧНОГО РАССОЛА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИХ КАЧЕСТВА**

Огуречный рассол является жидким побочным продуктом процесса квашения, соления или мочения огурцов. Согласно данным литературы в нем содержатся такие витамины и минеральные вещества, как аскорбиновая кислота, калий, магний, натрий, соединения меди, а также эфирные масла. Несмотря на очевидную полезность данного продукта, предприятия, изготавливающие соленые огурцы, остающийся рассол утилизируют. Учитывая вышеизложенное, целью данной работы был подбор рецептур напитков на основе огуречного рассола с пряно-ароматическими травами и определение их органолептических и физико-химических показателей.

Исходя из цели работы, объектами исследования были образцы огуречного рассола, предоставленные Столбцовским филиалом ОАО «Городейский сахарный комбинат», а также молотые пряно-ароматические растения: базилик, имбирь, мелисса, мята и тмин.

Приготовление напитков осуществляли следующим образом. Рассол фильтровали, нагревали до температуры кипения и выдерживали не более 5 мин., затем охлаждали до комнатной температуры. Для смягчения соленого и кислого вкуса рассол разбавляли водой в соотношении 1:1 и добавляли сахар. Параллельно готовили водные настои пряно-ароматических трав. В определенное количество рассола вносили небольшими порциями приготовленные настои, перемешивали и определяли запах и вкус полученных напитков. По результатам органолептических исследований отбирали образцы напитков, получивших наилучшие оценки.

В отобранных образцах напитков определяли следующие физико-химические показатели:

– массовую долю титруемых кислот в расчете на молочную кислоту визуальным методом по ГОСТ 25555.0-82 [1];

– массовую долю хлоридов аргентометрическим методом по Мору по ГОСТ 26186-84 [2]

– мутность фотометрическим методом по ГОСТ 3351-74 [3].

Результаты исследований влияния тепловой обработки рассола на его физико-химические показатели приведены в таблице 1. Как видно из представленных данных, кипячение продукта в течение 5 мин. приводило к некоторому увеличению концентрации соли и снижению содержания титруемых кислот, что обусловлено испарением влаги и улетучиванием молочной кислоты.

**Таблица 1 – Изменение физико-химических показателей рассола в процессе тепловой обработки**

Наименование показателя	Количественное значение	
	до тепловой обработки	после тепловой обработки
Массовая доля хлоридов в рассоле, %	3,57	3,72
Массовая доля титруемых кислот рассола в расчете на молочную кислоту, %	0,61	0,49

Результаты органолептических показателей напитков на основе огуречного рассола с пряно-ароматическими растениями приведены в таблице 2 и свидетельствуют о том, что наилучшими вкусом и ароматом обладали напитки из рассола с мятой и базиликом.

**Таблица 2 – Органолептические показатели напитков на основе огуречного рассола**

Напиток	Вкус	Запах
Огуречный рассол с базиликом	Приятный пряный, слегка горьковатый со сладковатым привкусом	Приятный пряный
Огуречный рассол с имбирем	Острый неприятный	Резкий запах рассола
Огуречный рассол с мелиссой	Не выраженный	Отчетливый запах рассола
Огуречный рассол с мятой	Мягкий, слегка освежающий	Нежный мятный аромат
Огуречный рассол с тмином	Не выраженный	Отчетливый запах рассола

Рецептуры напитков из огуречного рассола с настоем базилика и мяты, а также физико-химические показатели напитков приведены в таблицах 3 и 4 соответственно. Как видно из таблицы 4, разбавление

рассола водой и водными настоями пряно-ароматических растений способствовало снижению массовой доли хлоридов и титруемых кислот практически в 2 раза по сравнению с исходным рассолом. Мутность разработанных напитков различалась незначительно.

**Таблица 3 – Рецептуры разработанных напитков**

Ингредиенты	Содержание, г	
	огуречный рассол с базиликом	огуречный рассол с мятой
Огуречный рассол	500	500
Вода	500	500
Сахар	10	20
Настой базилика	80	–
Настой мяты	–	40

**Таблица 4 – Физико-химические показатели разработанных напитков**

Наименование показателя	Количественное значение	
	огуречный рассол с базиликом	огуречный рассол с мятой
Массовая доля хлоридов, %	1,87	1,99
Массовая доля титруемых кислот в расчете на молочную кислоту, %	0,24	0,23
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	26,286	25,095

Таким образом, наши исследования показали, что огуречный рассол может быть использован для изготовления напитков, что позволит улучшить экономические показатели предприятия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности (с Изменениями N 1, 2): ГОСТ 25555.0-82. – введ.01.01.1983. – Москва : Издательство стандартов, – 2002. – С.8.
2. Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Методы определения хлоридов: ГОСТ 26186-84. – введ.01.07.1985. – Москва : Стандартиформ, – 2010. – С.12.
3. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности Вода питьевая: ГОСТ 3351-74. – введ.01.07.1975. – Москва: Стандартиформ, – 2010. – С.12.

УДК 664.843.52

Студ. Д.С. Бруневская

Науч. рук. доц. З.Е. Егорова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОГУРЕЧНОГО РАССОЛА И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

Огуречный рассол – жидкость сложного состава на основе водного раствора поваренной соли, нередко с добавлением специй и пряностей. Образуется как побочный продукт ферментации огурцов. Ферментация – это биохимический процесс, при котором в органических субстратах (главным образом в углеводах под действием микроорганизмов) происходят изменения, приводящие к превращению разлагаемых пищевых компонентов в более стабильные формы. Ферментирующие микроорганизмы должны быть безопасными для здоровья потребителей и продуцировать достаточные количества требуемых метаболитов.

При засоле огурцов происходят процессы молочнокислого брожения. В рассол переходят вещества, растворенные в клеточном соке огурцов. Благодаря этому, в рассоле накапливаются сахара и создаются условия, благоприятные для развития микроорганизмов. Главное брожение происходит под действием факультативно-анаэробных гомоферментативных молочнокислых бактерий *Lactobacillus plantarum* и *Pediococcus cerevisiae*. Наряду с этими бактериями присутствуют и гетероферментативные бактерии *Lactobacillus brevis*, которые кроме молочной кислоты образуют уксусную кислоту, углекислый газ, этиловый спирт, декстран, манит. Через 3–6 недель, в зависимости от температур, брожение заканчивается. Образовавшаяся кислота гарантирует достаточную стойкость соленых огурцов при условии, что они хранятся на холоде и без доступа воздуха. Основными источниками образования огуречного рассола являются промышленное и домашнее производство соленых огурцов [1]. Нормируемые значения показателей качества огуречного рассола представлены в таблице 1 [2].

**Таблица 1 – Показатели качества огуречного рассола**

Наименование показателя	Характеристика сорта		Метод испытания
	первого	второго	
1	2	3	4
Органолептические показатели			
Качество рассола	Мутноватый, приятного аромата, солоновато-кисловатого вкуса, несколько более острого, чем у огурцов.		По ГОСТ 7180

1	2	3	4
Мутность	–	По ГОСТ 3351	Мутность
Физико-химические показатели			
Массовая доля хлоридов в рассоле, %	2,5-3,5	2,5-4,5	По ГОСТ 26186
Массовая доля титруемых кислот рассола в расчете на молочную кислоту, %	0,6-1,2	0,6-1,4	По ГОСТ ISO 750

Современные тенденции расширения видов выпускаемой продукции дают возможность в полной мере рассматривать рассол как самостоятельный напиток или основу для него, так как он является великолепным пищевым и целебным продуктом, дешевым и всем доступным. Предприятия теряют потенциальный заработок, а население – ценный пищевой продукт, утилизируя его. Для дальнейшего использования рассола в производстве напитков немаловажным будет изучить физико-химические показатели огуречного рассола и их изменения в процессе хранения, что и является целью работы.

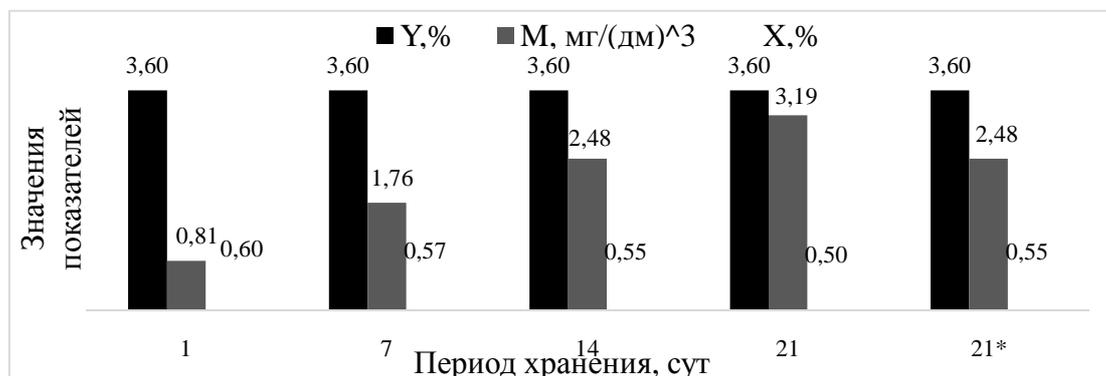
Объектом исследования был огуречный рассол, оставшийся после расфасовки огурцов соленых «Классических», предоставленный Столбцовским филиалом ОАО «Городейский сахарный комбинат». О качестве рассола судили по следующим показателям:

- массовой доле хлоридов (аргентометрический метод по Мору);
- массовой доле титруемых кислот в расчете на молочную кислоту (визуальный метод) [3];
- мутности (фотометрический метод).

Рассол был поделен на два образца. С одним проводили испытания в течение месяца, периодически оставляя на хранение в холодильник, что равносильно хранению в домашних условиях. Второй образец поместили в холодильник и измерили показатели через месяц после хранения.

Результаты испытаний в процессе хранения представлены на рисунке. Как видно из приведенных данных, в процессе хранения в рассоле происходят изменения его физико-химических показателей. В частности, массовая доля хлоридов не изменяется, так как они не расходуются в процессе ферментации и не реагируют с веществами, находящимися в рассоле, и она составляет 3,60 %. А вот массовая доля титруемых кислот в расчете на молочную кислоту уменьшалась с 0,60 до 0,50 %, за счет улетучивания углекислого газа. Мутность увеличилась за счет образования нерастворимых осадков и появле-

ния сгустков белковых продуктов жизнедеятельности микроорганизмов с 0,81 до 3,19 мг/дм<sup>3</sup>.



\* – результаты испытания второго образца; Y, % – массовая доля хлоридов; X, % – массовая доля титруемых кислот в расчете на молочную кислоту; M, мг/дм<sup>3</sup> – мутность.

#### Рисунок – Результаты испытаний в процессе хранения

Различие физико-химических показателей между образцами незначительное, но разницу в результатах можно объяснить тем, что в периодических условиях добавлялось воздействие температуры, воздуха и света, которое способствовало их изменению. Рассол соответствовал требованиям стандарта в начале периода хранения, до момента, когда массовая доля титруемых кислот в расчете на молочную кислоту стала ниже нормируемого значения. Это приводит к необходимости использовать рассол как можно быстрее или стабилизировать его в процессе хранения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Синха, Н. К. Настольная книга производителя и переработчика плодоовощной продукции / Н. К. Синха; под ред. И. Г. Хью. – СПб.: Профессия, 2013. – 896 с.
2. Огурцы соленые. Технические условия: ГОСТ 7180-73. – Введ. 01.07.1975. – Москва: Издательство стандартов, 2001. – 12 с.
3. Продукты переработки фруктов и овощей. Определения титруемой кислотности: ГОСТ ISO 750-2013. – Введ. 01.04.2016. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 8 с.
4. Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Методы определения хлоридов: ГОСТ 26186-84. – Введ. 01.07.1985. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 12 с.
5. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности: ГОСТ 3351-74. – Введ. 01.07.1975. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 12 с.

УДК 664.863.813

Студ. В.П. Белявская

Науч. рук. доц. З.Е. Егорова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

### **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФРУКТОВЫХ СОКОСОДЕРЖАЩИХ НАПИТКОВ С СЕМЕНАМИ ЧИА**

Второе название чиа – испанский шалфей. Впервые растение было замечено на территории Южной и Центральной Америки ещё в 1500 году до н.э. Племена ацтеков, которые тогда жили в этих местах, использовали продукт не только в пищу, но и в качестве местной валюты. Сегодня семена чиа стали новым модным продуктом для людей, интересующихся здоровым образом жизни. Семена чиа считаются аналогом асаи и ягод годжи. Их рекламируют как «суперфуд», средство от многих заболеваний и для похудения.

Семена чиа маленькие овальные, около 1 мм в диаметре, бывают разных цветов: коричневые, серые, черные и белые. Общие преимущества – содержат пищевые волокна, белок, макро- и микроэлементы, омега-3 жирные кислоты и др. Например, в семенах чиа содержится калия в 2 раза больше, чем в бананах; кальция и фосфора – в 5 раз больше, чем в молоке; железа – в 2 раза больше, чем в шпинате. Химический состав представлен в таблице 1 [1].

**Таблица 1 – Химический состав семян (в г на 100 г продукта)**

Пищевые вещества	Численное значение
Белки	15,6
Жиры	30,8
Углеводы	6
Пищевые волокна, клетчатка	37,7
Вода	5
Зола	4,9

Продукт реализуется в чистом или переработанном виде. Чаще всего семена обжаривают и перетирают в муку. Эта мука не используется для приготовления выпечки, ею обогащают еду (в качестве приправы) или питательные коктейли. Из семян чиа очень редко производят масло. Ростки с пророщенных семян чиа добавляются в салаты. Зерна можно использовать для приготовления коктейлей с добавлением любого фруктового сока, есть сырыми, замачивать в воде или молоке, при этом семена увеличиваются в объёме и образуют гель [2]. Основываясь на зарубежных исследованиях, можно утверждать, что гель, полученный из семян чиа, может быть потенциальным ингредиентом для пищевой промышленности, особенно в качестве загустите-

ля, эмульгатора, стабилизатора пены, и использоваться в качестве поверхностно-активного вещества для стабилизации эмульсий от коалесценции [3, 4]. Таким образом, целью данной работы является анализ пищевой ценности семян чиа и разработка рецептов соковой продукции с семенами чиа.

В качестве объекта исследования использовали:

– органические семена чиа (*Salvia hispanica* L.) темных сортов, приобретенные в интернет-магазине *shantilavka.by*, произведенные ООО «ПОЛЕЗНО» (РФ), страна происхождения – Парагвай;

– сок яблочный из зелёных яблок восстановленный, осветлённый, без добавления сахара, изготовитель – ОАО «Сады Придонья», РФ.

При разработке рецептов соковой продукции с соком яблочным смешивали непосредственно семена чиа и предварительно полученный гель из семян чиа в различных соотношениях. Далее образцы выдерживали некоторое время при перемешивании. В результате данного эксперимента были получены 6 образцов соковой продукции с добавлением семян чиа. Описание данных образцов представлено в таблице 2.

**Таблица 2 – Краткая характеристика образцов соковой продукции**

№ образца	Консистенция	Вкус, запах
1	2	3
1	Объём смеси в процессе гидратации уменьшился. Семена поглотили практически всю влагу. Гель очень плотной и густой структуры, по консистенции близок к пюре.	Вкус и запах яблочного сока практически отсутствуют, отчётливо ощущаются вкус и запах семян чиа.
2	Объём смеси в процессе гидратации увеличился на ½ начального объёма. Гель обладает достаточно текучей структурой, есть некоторое количество свободной жидкости, однако консистенция не соответствует консистенции необходимой для сока.	Присутствует отчётливый вкус сока, лёгкий ненасыщенный привкус семян. Запах семян практически не ощущается.
3	Объём смеси в процессе гидратации практически не изменился. Гель имеет консистенцию сходную с консистенцией сока. Семена осели на дно сосуда.	Ярко выраженный вкус и запах сока, привкуса и аромата семян не ощущается.

1	2	3
1/2	Объём смеси после смешивания всех ингредиентов не изменился. Консистенция немного гуще консистенции сока. Семена осели на дно сосуда.	Вкус сока ощущается слабо, достаточно яркий привкус семян. Отчётливо ощущается запах сока.
2/2	Объём смеси после смешивания всех ингредиентов не изменился. Консистенция схожа с консистенцией сока. Семена осели на дно сосуда.	Ощущается достаточно выраженный вкус сока с лёгким привкусом семян чиа. Преобладает запах сока.
3/2	Объём смеси после смешивания всех ингредиентов не изменился. Консистенция схожа с консистенцией сока. Семена осели на дно сосуда.	Ярко выраженный вкус и запах сока. Вкус и запах семян не ощущается.

По результатам проведённых экспериментов было выявлено, что наилучшими органолептическими свойствами, консистенцией и внешним видом обладает образец № 3/2. Образец № 3/2 получен путём смешивания геля из семян чиа и сока яблочного. Данный образец обладает приятным золотистым цветом, характерным для яблочного сока, консистенцией наиболее близкой к консистенции сока, вкусом яблочного сока с приятным привкусом семян чиа. Однако, в результате исследования не удалось добиться взвеси семян в соке. В связи с этим, целесообразны дополнительные эксперименты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Семена ЧИА – полезные свойства и противопоказания [Электронный доступ]. – 2018. – Режим доступа: <https://alter-zdrav.ru/semena-chia-poleznye-svoystva-i-protivopokazaniya-kak-upotreblyat/> Дата доступа: 10.04.2019.
2. Семена чиа — химический состав, пищевая ценность [Электронный доступ]. – 2018. – Режим доступа: <https://fitaudit.ru/food/123567/> Дата доступа: 10.04.2019.
3. Исследование свойств геля, полученного из семян чиа (*Salvia hispanica* L.) Д.В. Кузнецова; Е.В. Кирячева; канд. техн. наук Л.А. Надточий; Университет ИТМО Россия, Санкт-Петербург.
4. Opinion on the safety of ‘Chia seeds (*Salvia hispanica* L.) and ground whole Chia seeds’ as a food ingredient. Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (Question No EFSA-Q-2008-008). Adopted on 13 March 2009 The EFSA Journal (2009) 996, P. 1–26.

УДК 10 (09)

Студ. А.В. Валушко

Науч. рук. ст. преп. М. В. Подручный  
(кафедра философии и права БГТУ)

## **ГЕРМЕНЕВТИКА КАК МЕТОД СОЦИО-ГУМАНИТАРНОГО ПОЗНАНИЯ**

О последовательных проектах обоснования всеобщей герменевтики можно вести речь лишь начиная с эпохи Нового времени, тогда как средневековым мыслителям вменяется в качестве заслуги анализ грамматических, семантических и онтологических предпосылок аристотелевской логики. Суть данной установки на универсальность герменевтики в отличие от продолжительного периода ее существования в качестве искусства понимания и истолкования заключается в обосновании ее всеобщего статуса в качестве особой науки либо присущей всем прочим наукам универсальной грамматики.

В целом претензию на всеобщность, которая присуща многочисленным проектам герменевтики Нового времени, отличают поиски наиболее общих правил и методов интерпретации, которые можно было бы применять в любом сомнительном или трудном случае при понимании письменных текстов. Это надолго поместило герменевтику в ранг одного из логических разделов, так как объектом согласно ее исследования, согласно И. Даннхауэру, становились «произвольные знаки» и «доктринальные знаки» [1].

Значительное развитие идеи герменевтики получили, например, в работах Вильгельма Дильтея. Дильтей отталкивался от идеи Шлейермахера о том, что понимание предполагает читательское «вживание» в творческий процесс соиздания автором текста. Он развивал мысль о необходимости превращения герменевтики в фундамент гуманитарных, общественных наук. Сначала герменевтика строилась Дильтеем на базе психологической науки, а затем она стала основываться на истории духовной культуры общества.

Центральным понятием философии Дильтея было понятие жизни, Жизнь – духовная связь людей, непрерывная, полная, целостная и многообразная, до конца в принципе не познаваемая основа мира. Ее непостижимость является однако же не абсолютной, а относительной. Недоступная для постижения средствами гегелевского разума жизнь раскрывается в процессах переживания, в совокупности актов любви и ненависти, восторга и безразличия, отчаяния, равнодушия и т.п. Индивидуальная, духовная жизнь индивида является, по Дильтею, строительным элементом духовной жизни общества, базисом которой, в

свою очередь, опять же, является индивидуально-наиндивидуальная жизнь. Подчеркнем еще раз, что если жизнь принципиально не постигается логикой и разумом, не фиксируется процедурами логического объяснения, то наука об обществе не может не иметь особого предмета, а также специфического метода исследования.

Если предметом гуманитарных наук, согласно Дильтею, является духовная жизнь, то их методом познания оказывается понимание. Понимание – это подлинное переживание. Практически это означает, что социология, политология, экономика и другие гуманитарные науки должны ограничиваться изучением только духовных явлений. Их постижение предполагало использование самонаблюдения ученого, интроспекции и описания фактов духовной жизни людей. Все гуманитарные, общественные науки или, по терминологии Дильтея, науки о духе, должны быть науками, воспроизводящими биографии, по преимуществу интеллектуальные автобиографии людей. В биографии единичного человека и раскрывается, по Дильтею, всеобщий закон общественного развития. Вместе с тем немецкий ученый стремился все же избежать чрезмерной психологизации герменевтики. Понимание, конечно, предполагает сопереживание или, как выражался немецкий философ, обнаружение «Я в ТЫ».

В поздних работах Дильтея интересует уже не индивидуальный духовный мир личности, а мир духовной культуры, мир индивидуальной, коллективной жизни. Поскольку же духовная жизнь общества, как мы помним, является во многих своих разновидностях непостижимой, иррациональной, постольку понимание оказывалось как бы методом непостижения непостижимого. Очистить тело герменевтики от привнесенных Дильтеем элементов субъективизма, психологизма пытались другие философы 20 века.

В качестве продуктивного продолжения линии герменевтики Шлейермахера-Дильтея особое внимание привлекает проект всеобщей теории истолкования Э. Бетти. В рамках данной теории сохраняется эвристика расширения предмета познания от понятия текста до многочисленных проявлений человеческой жизни, таких как произведения искусства, социальное поведение и общественные институты – все то, что может быть прочитано как послание чуждого духа. Поль Рикер в своих работах попытался представить философию в качестве своеобразной герменевтики. Для него история была герменевтическим раскрытием собственного смысла, проявлением специфичности человеческих поступков, деяний личности, единством структур и событий (ситуаций). Герменевтика понималась как учение о методе проясне-

ния социальных структур, таких как, например, историко-философские системы и события, как уникальные взгляды некоторого выдающегося мыслителя. Герменевтическое понимание должно быть дискретным или, иначе говоря, историчным и феноменологичным. История является только тем, что в ней понимается и разъясняется.

В современной литературе создателем философской герменевтики по праву считают Гадамера. Стоит подчеркнуть, что он был учеником великого экзистенциалиста. Известно, что второй период творчества Хайдеггера был связан с тем, что предметом философии у немецкого зачинателя экзистенциализма становится понимание бытия. Именно Хайдеггер, изучая проблемы бытия, приходит к выводу об особой роли языка в культуре. Для Шелера, к примеру, язык – «социальное тело», посредник между людьми и источник понимания. Однако, именно Хайдеггер развил учение о том, что языку присуща как «скрытость», так и «открытость», что язык есть «обиталище (дом) бытия» [2]. С этой точки зрения, не мышление, а именно язык образует наиболее фундаментальный слой культуры.

Изучение и истолкование языка оказывается при этом главной задачей философии. Хайдеггеровское положение об особой роли языка в мире было исходным пунктом размышлений Гадамера, который пошел дальше Хайдеггера, придав герменевтике более широкое значение, чем только метод познания и исследования бытия. Для Гадамера философия является изучением способов понимания текста, а также путей раскрытия и самораскрытия языка. Предметом философии в его герменевтической версии оказывается, фактически, не только интерпретация и понимание явлений, а вся человеческая культура, налаживание коммуникативных связей между людьми.

Заслуга Гадамера заключалась в подчеркивании культурно-исторических и диалектических аспектов понимания. Вместе с тем его герменевтика была философски ограниченной, что состояло в обеднении сложной диалектики человеческой коммуникации, сведении ее к одному герменевтическому аспекту. В процессе общения с другими людьми мы ведь не только стремимся к достижению понимания, которое, кстати, является одной из предпосылок человеческой коммуникации, но и разрушаем его, стремимся убедить себя или другого в чем-либо и т.д., и т.п. С этой точки зрения, герменевтика оказывается одной из сторон более универсальной философии аргументации.

Понимание в герменевтике является отношением людей (субъектов – автора и читателя) по поводу текста. Научиться различать философскую форму и конкретное содержание техники герменевтики –

важное условие усвоения и прекращения герменевтики в элемент внутренней культуры человека.

"Понимание", с которым герменевтика имеет дело, является не только аспектом теории познания, но и фундаментом гуманитарных знаний («науки о духе») в целом.

Для гуманитарных знаний существуют специальные методы, которые вместе со специальным объектом, отличным от предмета точных наук, определяют качественную разницу гуманитарных знаний от естественных наук.

Для проблемы понимания в герменевтике важно, чтобы язык имел независимость, внешнее существование, оказывал давление на человека. Язык служит для развития духовного мира человека и несет начало мировоззрения. Таким образом, вопрос языка сливается с проблематикой сознания, и есть фундаментальная концепция для герменевтики. Поскольку тексты являются продуктами человеческой деятельности, на которых влияние лингвистического сознания, постольку понимание текстов должно основываться на принципиальном анализе лингвистического сознания.

Важной особенностью герменевтических рассуждений является их тесная связь с иррациональными моментами, присутствующими в гуманитарных явлениях. Герменевтическая логика, помимо четко признанных логических принципов, характеризуется рационализацией бессознательных моментов, неявно присутствующих в психическом содержании знаковых систем, в форме которых исследователю является предмет гуманитарного познания.

Таким образом, герменевтика – это наука о понимании значения знаков, но знаков не обязательно языковых (текстовых). Любой продукт познания выражается в символической форме (системе знаковых форм).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чуешов В. И. Введение в современную философию. // Герменевтика. М.: Наука, 1998. № 2. – С. 32-36.
2. Барковский П. В. Феномены понимания. // Контуры современной герменевтической философии. М.: Гардарики, 2008. – С.47, 56.

## **ТЕОРИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ К. ПОЛАНЬИ**

Карл Поланьи — один из ключевых теоретиков, изучавших разрывы в ходе исторической эволюции и рассматривавших развитие капитализма как процесс не органический, а форсируемый государством. Идеи спонтанного, саморегулируемого рынка, зародившиеся еще в XVII–XVIII веке, оказались вновь актуальны в начале 1990-х применительно к Восточной Европе, а также отчасти к современной ситуации в странах Азии и Африки, в прошлом имевших опыт «реального социализма». Концепция временного разрыва — центральная тема работ Поланьи, именно благодаря ей мы обращаемся к его трудам вновь и вновь. Однако вместе с тем Поланьи является автором теории двойного движения, означающей одновременное развитие взаимно уравновешивающих друг друга или вступающих друг с другом в борьбу (бесконечную, но социально безуспешную) капиталистического общества и «извлеченной» из него, независимо существующей экономики, производящей фиктивные товары и потребляющей землю, труд и деньги. Кроме того, работы Поланьи сыграли большую роль в критике понимания глобальных общественных изменений сквозь призму теории модернизации, согласно которой существуют разные, соподчиненные «стадии» развития, и которую можно применить как к нескольким обществам, так и к внутреннему развитию одного отдельно взятого социума. Подход в духе идей модернизации, подразумевающий неравномерное развитие, свойствен таким исследователям, как У. Ростоу, ранний С. Хантингтон, также писавший о «комбинированном развитии». В противовес этой теории Поланьи предложил ряд универсальных стадий интеграции экономики в общество и настаивал на том, что эти стадии характерны для всех человеческих обществ одновременно, разница лишь в пропорциях их распределения. А так как, по мнению Поланьи, они всегда существовали одновременно, имеет смысл рассматривать человеческое общество в целом как «смешанное» с точки зрения стадий интегрированности. Это, разумеется, не означает отсутствия определенных, как было сказано выше, разрывов, однако, согласно Поланьи, необходимо, чтобы все стадии были сбалансированы, и очень важно не допускать господства какой-либо одной из них — особенно рыночной экономики с ее полной свободой установления цен.

Во многом благодаря работам К. Поланьи методы экономического анализа деятельности общества обогатились социологическими, антропологическими и культурологическими приемами. До недавнего времени большинство экономистов при проведении анализов экономических явлений и процессов игнорировали фактор культуры. В большинстве случаев это происходило из-за трудностей с четким определением понятия «культура». Однако многие исследователи утверждают, что традиции и привычки, присущие отдельным этносам, конфессиям и группам населения, серьёзно влияют на их экономические достижения.

Ещё основоположники классической экономической теории Адам Смит и Джон Стюарт Милль считали, что культурные факторы иногда оказывают гораздо большее влияние на поведение людей, чем примитивное преследование личной выгоды. Немецкий философ и экономист Карл Маркс полностью изменил причинно-следственную связь между сложившейся культурой и экономическими отношениями в обществе. По Марксу, именно сложившаяся технология предопределяет доминирующую культурную систему в обществе. Маркс считал религию «побочным продуктом» производственных отношений. Немецкий философ Макс Вебер считал религию одним из основных факторов развития капиталистического общества. Так как любой новый экономический порядок в самом начале встречает сопротивление со стороны широких масс, аргументировал Вебер, одни лишь экономические стимулы недостаточны для убеждения предпринимателей в необходимости действовать согласно новой системе производственных отношений. Именно здесь религия сыграла неопределимую роль для формирования капиталистических отношений. В частности, протестантский реформизм проповедовал накопление богатства и благосостояния не только как преимущество, но и как долг каждого христианина. К. Поланьи также считал религию и культуру «фактором сдерживания», время от времени встающим на пути законов рынка. Однако после Второй Мировой войны теория К. Поланьи не нашла широкого распространения среди экономистов. Тогда экономическая наука все более развивала математические методы моделирования, поэтому казалось ненужным привносить в анализ дополнительные неизвестные, трудно поддающиеся количественной оценке — такие, как культура.

К. Поланьи предпринял исследование становления и развития капитализма в Западной Европе начиная с XV века и до середины XX века включительно. Под рыночной экономикой он понимает саморегулирующуюся систему рынков. Поланьи обращает внимание на оче-

видное противоречие, которое не замечают неоклассики. Существование саморегулирующегося рынка невозможно без функционирования рыночных законов, однако допускать функционирование рыночных законов пока не доказано существование саморегулирующегося рынка, мы также совершенно не вправе. Возникает порочный круг, выход из которого неоклассиками не найден. Попытка вывести эти законы из природы человека утопична. Разделение труда, феномен столь же древний, как и само общество, обусловлено различиями, заданными полом, географией и индивидуальными способностями, а пресловутая склонность человека к торгу и обмену почти на сто процентов апокрифична. Истории этнографии известны различные типы экономик, большинство из которых включает в себя институт рынка, но им неведома какая-либо экономика, предшествующая нашей, которая бы, пусть даже в минимальной степени, регулировалась и управлялась рынком. Поэтому он сравнивает современную индустриальную экономику с доиндустриальной, в основе которой, по его мнению, лежали три основных принципа: взаимности, перераспределения и домашнего хозяйства. Эти принципы институционализировались не с помощью экономики, а с помощью социальной организации.

Если мы сравним рыночный и редистрибутивный продуктообмен, то мы увидим коренные различия между ними. Методы координации в общественном разделении труда глубоко различаются в доиндустриальную и индустриальную эпохи, как и логика этого развития. Ортодоксальное учение постулировало склонности индивида к обмену, дедуцировало из нее необходимость появления местных рынков и разделения труда и выводило отсюда необходимость торговли, в конечном счете – торговли внешней, в том числе даже торговли дальней. В действительности, дальняя торговля возникает гораздо раньше торговли местной. А внутренняя торговля в Европе возникла благодаря вмешательству государства.

Таким образом, в лице К. Поланьи мы встречаем мыслителя, который — вместо того чтобы иерархически, а, следовательно, репрессивно разделять историю на «эпохи» в поисках некоего идеального общества — размышлял, каким образом различные институциональные рамки могут быть приведены в согласие друг с другом. Несомненно, это остается одной из важнейших задач сегодня, когда неоллиберализм успешно «маркетизировал» общество в масштабе всей планеты.

УДК 7.01:7.036

Студ. В. А. Пырх

Науч. рук. ст. преп. М. В. Подручный  
(кафедра философии и права БГТУ)

## **ИСКУССТВО ЭПОХИ ПОСТМОДЕРНА: КРИТЕРИИ ЭСТЕТИЧНОСТИ**

Постмодерн — социологическая, историко-философская концепция восприятия мира в период постиндустриализма, опирающаяся на недоверие к традиционным реалистическим концепциям, к истинности отражения реальности человеческими органами чувств. Искусство эпохи постмодерна – постмодернизм. Цель данной статьи – определить критерии эстетичности в постмодерне через определение ключевых идей, особенностей и характеристик искусства этой эпохи. Постмодернизм лучше всего понять путем определения модернизма, который он заменил - авангард, который действовал с 1860-х по 1950-е годы. Различные художники в современную эпоху руководствовались радикальным и дальновидным подходом, идеями технологического позитива и великими повествованиями о западном господстве и прогрессе. Появление нео-дада и поп-арта в послевоенной Америке ознаменовало начало реакции против этого мышления, которое стало известно как постмодернизм. Реакция приняла несколько художественных форм в течение следующих четырех десятилетий, включая концептуальное искусство, минимализм, видеоарт, перформанс и инсталляционное искусство. Эти движения разнообразны и несопоставимы, но связаны определенными характеристиками: ироничное и игровое отношение к фрагментированному предмету, нарушение иерархий высокой и низкой культуры, подрыв концепции подлинности и оригинальности, а также акцент на имидж и зрелище. Помимо этих более крупных движений, многие художники и менее выраженные тенденции сохраняются в духе постмодерна и по сей день.

Постмодернизм строится на трех концепциях:

### **1. Мгновенное значение**

Нет больше выцветших масляных картин, изображающих непонятные события из греческой мифологии, чтобы вызвать осознанную улыбку у опытных зрителей. Постмодернистская живопись и скульптура с самого начала своего существования в поп-арте была смелой, яркой и мгновенно узнаваемой. Темы и изображения были заимствованы в основном из громких потребительских товаров, журналов, рекламной графики, телевидения, кино, мультфильмов и комиксов. Впер-

вые все поняли искусство на дисплее. Хотя постмодернизм развился со времен поп-арта, ключевой целью остается мгновенное признание.

## 2. Искусство можно сделать из чего угодно

Скульпторы и художники изготавливали произведения из промышленного металлолома, противогазов, войлока, человеческих черепов, человеческой крови, мертвых мух, неоновое освещение, поролон, суповых банок, бетона, резины, старой одежды, навоза слона и многого другого. Идея заключается в том, чтобы демократизировать искусство и сделать его более доступным.

## 3. Идея важнее самого произведения искусства

Вплоть до 1960-х годов художники считали, что без готового продукта не было ничего. Поэтому огромное количество внимания было уделено качеству готового произведения искусства и мастерству, необходимому для его изготовления. Сегодня все по-другому. Постмодернисты, как правило, сильнее верят в концепцию готового продукта, а не в сам продукт. Вот почему многие из «постмодернистского искусства» известны как «концептуальное искусство» или «концептуализм».

Ключевые идеи постмодернизма:

Постмодернизм отличается тем, что ставит под сомнение основные повествования, которые были приняты в тот момент, наиболее важным из которых является представление о том, что весь прогресс, особенно технологический, является положительным. Отрицая это, постмодернисты отвергают и идею о том, что знания или история могут быть включены в обобщающие теории, вместо этого охватывая местное, случайное и временное. Другие повествования, отвергнутые постмодернистами, включают идею художественного развития как целеустремленную, идею о том, что художественными гениями являются только мужчины, и колониалистическое предположение, что небелые расы уступают. Таким образом, феминистское искусство и искусство меньшинства, бросившие вызов каноническому образу мышления, часто включаются в рубрику постмодернизма или рассматриваются как его представления.

Постмодернизм перевернул идею о том, что для произведения искусства было присуще одно значение или что это значение было определено художником во время создания. Вместо этого зритель стал важным детерминантом смысла, даже позволенным некоторыми художниками участвовать в работе, как в случае некоторых пьес. Другие художники пошли дальше, создавая работы, которые требовали вмешательства зрителя для создания и / или завершения работы.

Дада оказал заметное влияние на постмодернизм в вопросе об аутентичности и оригинальности. В сочетании с понятием присвоения постмодернизм часто приводил к подрыву оригинальности вплоть до нарушения авторских прав, даже при использовании фотографий практически без изменений оригинала.

Идея разрушения различий между высоким и низким искусством, особенно с включением элементов массовой культуры, была также ключевым элементом постмодернизма, который был основан в конце 19-го и начале 20-го веков. Например, в творчестве Эдгара Дега, который мог копировать известные произведения, а позже в кубизме, где Пабло Пикассо часто включал тексты популярных песен на своих полотнах. Эта идея о том, что вся визуальная культура не только в равной степени действительна, но и о том, что ее можно ценить и которой можно наслаждаться без какой-либо эстетической подготовки, подрывает представления о ценности и художественной ценности, так же как и использование готовых моделей.

На основании ключевых идей и принципов постмодернизма, можно сделать вывод о том, что основными критериями эстетичности выступают использование текста на видном месте в качестве центрального художественного элемента, упрощение, переработка прошлых стилей в современном контексте, разрушение барьера между высоким и низким искусством и перформанс. В отличие от предшествующих эпох, постмодернисты сильнее верят в концепцию готового продукта, а не в сам продукт, изготавливают произведения в буквальном смысле из подручных и повсеместных материалов, и стараются показать мгновенное значение своих работ, которые могут нести сразу несколько значений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зурбругг Н. Параметры постмодернизма. М.: Наука, 2007. – С. 23-34.
2. Сэндлер Ир. Искусство эпохи постмодерна: с конца 1960-х до начала 1990-х годов. М.: Гардарика, 2010. – С. 104.

УДК 372.2

Студ. А. С. Каленник

Науч. рук. ст. преп. М. В. Подручный

(кафедра философии и права БГТУ)

### ЭСТЕТИКА ДИАЛОГА

В эстетике существует две позиции, объясняющие взаимодействие субъекта и объекта. Исторически и традиционно сложилась естественным образом натуралистическая модель взаимодействия. Она заключается в пассивности воспринимающего субъекта относительно процесса понимания эстетического объекта. В натуралистической модели автор выступает тем, кто наделяет произведение смыслом, а реципиент лишь даёт ему оценку. Альтернативой данной модели выступает эстетика диалога.

Диалог в философском смысле предполагает замену объект-субъектной модели познавательного отношения на субъект-субъектную; замену аналитической парадигмы синтетической, целостной. Для того, чтоб лучше понять сущность целостного подхода, необходимо ввести понятие целомудрия. Целомудрие представляет собой восприятие без раскладывания объекта на составные части, даже можно сказать, что это принципиальная невозможность наблюдателя расщепить объект. Если субъект способен проанализировать образ объекта, то он сделает это на подсознательном уровне, а затем соберёт этот образ заново, однако уже совершенно в другом качестве, прибавив к нему свой горизонт ожидания и упорядочив составляющие объекта. В итоге субъект непременно привнесёт в объект нечто, изначально к нему не относившееся. Целомудрие же предполагает непосредственное чувственное восприятие без какого-либо анализа и притом восприятие объекта именно в том качестве, в котором он предстаёт сенсорным ощущениям субъекта. Целомудренное восприятие наиболее свойственно человеку без обширного чувственного опыта. Частное от восприятия эстетического объекта получается путём прямого созерцания, но вовсе не обязательно анализа, поэтому интуитивное понимание - истинно целомудренное, поскольку интуиция познаёт объект индуктивно, воссоздавая путём созерцания общую картину. Чувственный опыт учит человека анализировать, но не отнимает у него способности понимать объект интуитивно. Таким образом целомудренное познание эстетического объекта в зрелом возрасте действительно представляется возможным. Казалось бы, тут присутствует видимое противоречие, поскольку ранее было заявлено, что целомудрие - неспособность расщепить объект на составляющие. Однако суть заключается в изначальном подходе к восприятию объекта. Способ-

ностью к анализу и к интуитивному восприятию наделён каждый, однако неспособность анализировать в данном случае тождественна бессознательному выбору именно интуиции, исключаящему параллельное использование анализа как метода восприятия.

Под эстетикой диалога можно расширительно понимать те эстетические теории, которые делают особый акцент на коммуникативной функции искусства и предлагают модели эстетической коммуникации. В этом отношении значительная часть эстетических концепций сходится в признании способности искусства устанавливать коммуникативные связи и осуществлять коммуникацию. В качестве коммуникативных могут быть рассмотрены диалогические связи интерпретатора (слушателя, читателя, зрителя) и произведения, автора и интерпретатора, интерпретатора и эпохи - с трансляцией культурных ценностей, культурных архетипов. Акт понимания тоже может быть истолкован как своеобразный диалог. В этом отношении термин диалог употребляется часто, в разных значениях и не всегда корректно и уместно.

В более узком значении эстетикой диалога может быть названа экзистенциалистская концепция, выраженная прежде всего у таких авторов, как Г. Марсель и М. Бубер, где диалогическое понимание пронизывает всю их философию, начиная с онтологии, и допускает вполне законные эстетические экстраполяции. Бытие другого (Бога, человека) для этих философов есть тайна (в отличие от безличной бытовой или научной проблемы), а взаимное раскрытие личностей происходит только в глубинном иррациональном влечении, взаимопроникновении, эмпатии, в диалоге «Я» и «Ты», а не отношении «Я» и «Оно». Эстетическая коммуникация предстанет в этом случае особой разновидностью экзистенциального диалога. Ситуации понимания и непонимания послужили предметом изображения в экзистенциалистской прозе и драматургии; в эксплицитном варианте эстетика экзистенциального диалога не разработана столь подробно, как это было бы желательно.

Наконец, под эстетикой диалога понимают специфическую разновидность искусства - полифоническое искусство (имплицитная эстетика) и связанную с ним эстетическую теорию (на правах эксплицитной эстетики). Здесь прежде всего надлежит назвать Л. И. Шестова и М. М. Бахтина.

Выступая как философ с анализом произведений литературы, Л.И. Шестов указывал на своеобразие авторской позиции, а именно: отказ от морализаторства, дидактизма и вообще навязывания читателю определенной позиции и, соответственно, деления персонажей на носителей условно правильных и неправильных взглядов. Напротив,

показаны разные персонажи при всем их несходстве, при всей сложности их отношений, так, как они явились бы в реальной жизни. Ни философия, ни искусство не могут исчерпывающе объяснить жизнь, поэтому самое разумное - это дать героям предельно высказаться, осуществить то, что они хотят, и осуществиться так, как им угодно. Их свобода и равноправие окажутся ограниченными только талантом автора и их личными, им как персонажам приписанными, свойствами и характеристиками. Образуется полифоническое звучание разных голосов, оказавшихся в положении равноправного диалога. Искусство перестанет при этом пониматься как примитивный "учебник жизни".

М. М. Бахтин развил теорию полифонии глубже, сделав ее методологической основой эстетических и искусствоведческих исследований. Ее глубинные истоки - неокантианство и своеобразно осмысленная православная религиозность. Толкуя литературу как прежде всего художественно оформленную трансляцию, демонстрацию ценностей, он тем не менее, выступает против примитивного менторства и морализаторства. Персонажи-носители ценностей, убеждений, установок выступают как равноправные единицы структуры произведения (каждый является носителем своей правды); при этом даже автору не уделяется роль верховного судьи, он необходимо становится в положение одного из действующих лиц, хотя и с определенной спецификой; автор нередко присутствует в произведении неявным образом, с помощью так называемого образа автора. Каждому персонажу соответствует голос (дискурс), голоса образуют сложные линии взаимосвязи и, вступая в диалогические отношения, - полифонию, диалогическое многоголосие. Сокровенный смысл произведения читатель при этом вынужден постигать путем понимания, а не отстраненного информирования, что сильно оптимизирует бездейственность художественного текста. В свете этого подхода М.М. Бахтин разрабатывает теорию стиля, а также историческую морфологию литературы, отправляясь в последнем случае от фазового видоизменения способов построения диалога и его внесения в ткань произведения. В постмодернизме мы видим две позиции, связанные с диалогом: это либо отрицание возможности взаимопонимания и взаимного сближения, либо диалог становится самоцелью, а произведение в принципе не отстаивает и не может (и не должно) отстаивать какую-либо позиции (принцип, согласно которому все дискурсы равноправны).

УДК 130.2

Студ. О. С. Болотова

Науч. рук. ст. преп. М. В. Подручный  
(кафедра философии и права БГТУ)

### **НРАВСТВЕННАЯ ПРОБЛЕМАТИКА В РАБОТАХ Ф. НИЦШЕ И Ф. М. ДОСТОЕВСКОГО**

Вопрос о соотношении взглядов Ф. Ницше и Ф. Достоевского стал одной из главных тем западноевропейской мысли XX века. В настоящее время имя Ницше неразрывно связано с именем Ф.М. Достоевского. На данный момент существует множество примеров буквального совпадения высказываний героев Достоевского с основными мыслями философии Ницше. Какого же было влияние русского писателя и философа Ф.М. Достоевского на работы Ницше, его религиозно-философскую мысль в целом? Для ответа на данный вопрос необходимо проанализировать воззрения двух философов на проблему человека, нравственного совершенствования личности, отношение к христианству и его роли в европейской культуре.

Творческая деятельность Ф. М. Достоевского связана с пониманием мира и человека. В своих работах Достоевский уделял большое внимание проблеме свободы человека и влиянию Бога на свободу человека. Мыслитель полагал, что Христос вознаградил человека свободой и что человек должен свободно принять Христа. В человеке сражаются два противоположных мира. По словам Достоевского, человек не только стремится освободиться от страданий, но и постоянно ищет страдания и стремится истязать себя и других людей. Сам мыслитель отметил, что человек иногда способен верить в Бога, исходя из своей гордости. Человек не приемлет преклонение миру, обществу, людям и Богу как единственным источникам своей независимости и свободы от власти мира.

Вопрос о Боге у известного русского мыслителя тесно связан с вопросом о сущности человека. Судьба Раскольникова и Ивана Карамазова в творчестве Ф.М. Достоевского является основным вопросом о человеке и тех границах, которые для него были установлены. В частности, необходимо подчеркнуть постоянный интерес писателя к вечной сущности человеческой природы, ее развитию, ее внутреннему движению. Так, Ф.М. Достоевский показывает игру человеческих страстей в явлениях человеческой психики. Характерные взгляды Ф. М. Достоевского на сущность человека заключаются в том, что суть человека заключена в самом человеке, его любви и откровениях человеческой души.

Что касается отношения Ф.М. Достоевского к нигилизму, то, по его мнению, нигилист - это человек, который отделен от своих корней и связан с отрицанием всех ценностей. Намного позже Ницше отметил, что «глаз нигилиста идеализирует в сторону безобразия». Отсюда следует, что нигилист характеризуется стремлением видеть зло и безобразие в окружающем обществе. Несмотря на то, что Ф. Ницше, так же как и Ф. М. Достоевский в своих работах предусматривает новые способы формирования представлений о сущности человека по сравнению с традиционными представлениями; его идеи основаны на разных начальных принципах.

Анализируя представления Ф. Ницше о человеке, необходимо подчеркнуть, что они основаны на идее о том, что в мире, где «Бог мертв», человек становится одиноким и свободным. Но в то же время он несет ответственность за все, что происходит. Ф. Ницше считает, что разум обретает полное освобождение только тогда, когда сделан сознательный выбор и приняты определенные обязательства. Основное отличие в понимании сущности человека Ф. Ницше заключается в том, что, если человеку не удастся избежать необходимости, истинная свобода заключается в ее полном принятии.

Ф. Ницше утверждает, что каждый человек несет цель в себе и эта цель – жизнь. Мыслитель связывает идеал человека с ценностью жизни. Такой идеал может быть достигнут только тогда, когда человечество сможет вернуться к истокам своей истории. Тогда люди не будут обременены бытовыми, социальными, религиозными проблемами и запретами и в конечном итоге достигнут абсолютной свободы.

Центральной темой, связанной с пониманием сущности человека и раскрытой в работах Ф. Ницше, является идея сверхчеловека. Все ключевые идеи писателя о морали, нравственности и выборе в конечном итоге сводились к одной идее - сверхчеловека. Идея сверхчеловека полностью раскрыта в книге «Так говорил Заратустра». Анализ этой работы показывает, что Ф. Ницше вкладывает в понятие сверхчеловека определенный нравственный образ, который является высшей ступенью духовного развития человечества, олицетворение тех новых моральных идеалов, любовь к которым Ф. Ницше стремился сделать главным нравственным устремлением человечества. По его мнению, величие души - это удел немногих, но оно способно реализовать смысл человеческого существования. Сверхчеловек развивается среди представителей высшего типа людей. Он является совершенным воплощением воли к власти. По словам Ф. Ницше, исторически-

ми предшественниками сверхчеловека были такие знаменитости, как Цезарь, Наполеон.

Если вопрос Ф.М. Достоевского о Боге связан с вопросом о человеке, то процесс развития и становления сверхчеловека предполагает у Ф. Ницше преодоление человека. Мыслитель отметил, что преодоление человека означает, прежде всего «преодоление человека самим человеком и в самом человеке» [1]. Формирование сверхчеловека происходит первым делом внутри личности, что осуществляется с помощью творческой энергии, укорененной в бесконечности ее бытия, которое не знает ни ограничений, ни необходимости.

В теории преступления, разработанной Ф. Ницше, главным является положение о том, что «тип преступника есть тип сильного человека, развивавшегося среди неблагоприятных условий, это – доведенный до болезни сильный человек» [2]. Отсюда следует, что Ф. Ницше выделяет такой инстинкт, как воля к власти, как основной. Более того, он возвышает его до основного принципа жизни. С его точки зрения, преступление - не результат порочности природы, а форма проявления «здорового» инстинкта самоутверждения.

Таким образом, можно сделать вывод, что родственность идей Ф.Ницше и Ф.М Достоевского объясняется в первую очередь рядом мировоззренческих установок. Оба – и немецкий философ, и русский писатель – не усыпляли человеческую совесть, они показывали людей такими, какими они являются в действительности. До Достоевского и Ницше философы стремились определить мораль своего времени, найти ее особенности и фундаментальные положения и с их помощью показать человечеству вытекающее из них следствия. Достоевский и Ницше провозгласили совершенно новую мораль – мораль сверхчеловека, которого еще не существует в реальности. При этом они опирались не только на размышление и осмысление, но и на инстинктивные реакции. Но если Ф.М Достоевский вкладывает идеи атеизма в уста своих героев, то Ницше как бы сам становится в этот ряд, будучи одним из них.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ницше Ф. Так говорил Заратустра. М.: Свет - М, 2007. – С. 104–106.
2. Ницше Ф. К гениалогии морали: по ту сторону добра и зла. М.: Гардарика, 2010. – С. 67.

УДК 112.12

Студ. Е. В. Шух

Науч. рук. ст. преп. М. В. Подручный  
(кафедра философии и права БГТУ)

### **ПРОБЛЕМА ДУШИ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА: ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ТВОРЧЕСТВА К.Г ЮНГА**

Современный человек встречается достаточно изредка, т.к. он должен быть в высшей степени сознательным. Ведь существовать полностью в настоящем означает целиком осознавать свое существование, что требует максимальной интенсивности и экстенсивности сознания, минимума бессознательного. Мало кто из нас - современный человек или человек, который живёт в настоящем, т. к. многие не осознают современность в наибольшей степени. Только современный человек живет по-настоящему реальным: только он имеет сознание сегодня. Он один заметил, что удовлетворился жизнью на более начальных уровнях развития, в котором до сих пор пребывает человеческое множество. Современный человек «бесстрашен» и отходит от массы людей, живущих по традиции.

Тот, кто достиг сознания современного человека, одинок, потому что каждый этап к более полному сознанию убрал его из чисто животного сплочения со стадом, от погруженности до общего бессознательного. Целая толпа малосущественных людей придает себе ложный образ современных, пропуская ряд стадий развития и отведенных ими жизненных задач. Их беззаботность принимается за жалкое одиночество современного человека и обесчестивает его. Отрицать прошлое и осознавать только настоящее – нелепое занятие. «Сегодня» обретает смысл только тогда, когда оно находится между «вчера» и «завтра». «Сегодня» – это процесс, переход, который отрывается от «вчера» и стремится к «завтра». Тот, кто понимает «сегодня» в этом смысле, может называться современным.

Рядом с каждым добром есть зло, которое ему подходит, и ни одно доброе не может появиться в мире, не создавая непосредственно связанного с ним зла. Этот болезненный факт создает воображаемым возвышенное чувство того, что он является вершиной всей прошлой истории человечества, исполнением и безразличием бесчисленных тысячелетий. В лучшем случае это будет гордым признанием нашей бедности, ведь мы – это еще и гибель многовековых иллюзий.

Конечно, большая часть зла исходит от бесконечного бессознания человечества, и, вероятно, правильно также, что мы способны как-то противодействовать душевным возникновениям зла через высшее сознание, так же, как и наука позволяет нам лучше справляться с

внешними трудностями. Темные, почти болезненные явления заднего плана души каким-то образом радуют нас, хотя трудно объяснить себе, почему нечто, отталкивающее во все времена, вдруг стало настолько интересным.

Столкнувшись с такой картиной, лучше снова стать скромным. Действительно, современный человек находится на вершине, но завтра он устареет; поистине, он является последним элементом старого развития, но и самым большим разочарованием всех надежд человечества. Современный человек знает об этом. Он видел, как наука, техника и организации могут быть полезными, но и насколько они вредны. К. Г. Юнг знает проблему души современного человека лишь из собственного исследования других людей и себя самого. Он осведомлен с личной душевной жизнедеятельностью множество сотен развитых людей, больных и здоровых. Можно нарисовать только одностороннее изображение, потому что все находится внутри души. Такое положение вещей является не совсем простым, поскольку душа не везде и всюду располагается внутри человека. Существуют народы и эпохи, где она находится снаружи. Есть народы, которые бездушны, как, например, все древние культуры, а среди них прежде всего египтяне со своей потрясающей объективностью и со своим столь же великим, наивным и отрицательным покаянием в грехах.

Людей не поглощает неуверенность и опасения, и они не знают, что это значит сомневаться в себе. Но стоит только некоторым каналам душевной активности забиться, как тут же появляются застойные явления, источник перегружен, то есть внутри хочется не того, что имеется снаружи, и впоследствии люди перестают сомневаться в себе. Только в этом случае, в этом безвыходном положении, душа разоблачается как нечто желающее другого, как нечто чужое и даже враждебное и противоположное.

Душа всегда была лишь частью метафизической системы. Впрочем, современное сознание, как бы яростно и безнадежно оно ни уклонялось, больше не сможет отвернуться от познания души. В этом разница нашего времени и предшествующего. Люди больше не могут опровергать, что неизвестные силы бессознательного представляют собой эффективные возможности, что называются силами души, которые были введены в рациональный строй нашего мира, хотя бы в настоящее время; кроме того, люди подвергают их научному анализу, основывая на них свои доказательства, и чем серьезней люди к ним относятся, тем больше они делают. Предшествовавшие века могли, пренебрегая ими, выбросить их на свалку; но они уже не могут отбросить их.

Люди ожидают от души того, чего не дал внешний мир, того, что, очевидно, должны были охватывать наши религии, но чего они, по крайней мере для современного человека, уже не охватывают. Для современного человека религии больше не идут изнутри души; они стали для него атрибутом внешнего мира. Дух больше не захватывает его своим внутренним даром; он пытается принять религии и убеждения, будто надевает праздничный костюм, чтобы снова сбросить их как поношенную одежду.

Наше время хочет узнать саму душу. Он ищет коренной опыт, и, следовательно, отвергает всякие предубеждения и вместе с тем использует все имеющиеся предположения в качестве средства достижения цели, а значит, и предположения известных религий и науки. Большие инновации никогда не приходят сверху, они всегда поднимаются снизу, так же как деревья никогда не растут сверху вниз, а всегда снизу-вверх. Потрясение нашего мира и потрясение нашего сознания одинаковы. Все становится относительным, и поэтому подозрительным. В то время как сознание с робостью и с подозрением смотрит на этот сомнительный мир, в котором оно разбивается от мирных договоров и дружеских соглашений, от капитализма и большевизма, душа желает разобраться в суеде подозрений и неконкретности. И это самые темные слои людей, меньше подвергнутые моральным заблуждениям, чем сияющие вершины общества, эти множество раз опозоренные тихие люди и есть те, кто уступает неосознанному давлению души.

Современный человек является кульминацией, но завтра он будет забыт. Он представляет из себя продукт многостолетнего развития, но является самым тяжёлым разрушением человечества. Современный человек понимает это. К. Юнг говорит: «Современный человек установил идеалы материального благосостояния, безопасности, человеколюбие. Текущий интерес к познанию души – это показатель того, что современный человек желает от души чего, что недостижимо во внешнем мире» [1].

Современный человек интуитивно оставляет проложенные пути, чтобы найти другие тропы и проходы. Современный человек идет ко внутреннему миру, к восприятию темных основ души.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Юнг К. Г. Проблемы души нашего времени. М.: Веста, 2004. – С. 71-72.

УДК 101.1:316.

Магистрант О. В. Виноградова

Науч. рук. доц. П. М. Бурак (кафедра философии и права, БГТУ)

### **ЦИФРОВОЕ ОБЩЕСТВО И ЕГО РИСКИ**

Развитие информационного общества и формирование его новой стадии – общества знания обуславливает необходимость анализа противоречий, связанных с интенсивным развитием новых информационных технологий, процессами модернизации и их влиянием на все сферы общественной жизни. Интенсивность перемен в экономической сфере непосредственно влияет и на динамику социума в целом. Сложность экономических и социальных систем резко возрастает, приближаясь к уровню сложности высокоорганизованных систем в живой природе. Не случайно в своей книге «Бизнес со скоростью мысли» Билл Гейтс вводит понятие «электронной нервной системы», тем самым перенося антропоморфные характеристики на экономику в целом [1]. В свою очередь, сверхсложность порождает синергетические эффекты, связанные с неустойчивостью систем, что ведет к противоречивости и нестабильности существования человека в современную эпоху.

Цифровое общество – это глобальный проект, целью которого является построение нового общества, управляемого посредством использования информационно-коммуникационных технологий, основанных на применении микроэлектроники, локальных и глобальных компьютерных сетей, которые собирают, обрабатывают, генерируют и распределяют информацию через системы глобальных телекоммуникационных сетей. Цифровое общество, по сути своей, является сетевым информационным обществом [2].

В 2003 году в Женеве и в 2005 году в Тунисе состоялись Всемирные встречи на высшем уровне по вопросам построения единого наднационального глобального цифрового информационного общества (WSIS – WorldSummitontheInformationSociety). Представители народов мира, собравшиеся в Женеве 10–12 декабря 2003 года для проведения первого этапа Всемирной встречи на высшем уровне по вопросам информационного общества, заявили об общем стремлении и решимости построить ориентированное на интересы людей, открытое для всех и направленное на развитие информационное общество, в котором каждый мог бы создавать информацию и знания, иметь к ним доступ, пользоваться и обмениваться ими с тем чтобы дать отдельным лицам и народам возможность в полной мере реализовать свой потенциал, содействуя своему устойчивому развитию и повышая качество

своей жизни на основе целей и принципов Устава Организации Объединенных Наций и соблюдая в полном объеме и поддерживая Всеобщую декларацию прав человека.

Считается, что идея информационного общества (ИО) 30 лет назад была высказана японскими исследователями. Можно вспомнить теорию постиндустриализма, основу которой заложили З. Бжезинский, Д. Белл, Э. Тоффлер. Постиндустриальное общество – это информационное общество. Известный американский социолог, публицист-футуролог Э. Тоффлер в своей книге “Третья волна” в 1980 году писал о том, что человечество развивается «волнами» в соответствии с развитием науки и техники. Цивилизация третьей волны перестроит систему образования и научных исследований, реорганизует средства массовой информации, принесет новые проблемы и риски. Информация приобретет большую ценность, чем когда-либо.

Основоположником концепции информационного общества можно считать и канадского культуролога М. Маклюэна, который ввел понятие «глобальная деревня». Процесс формирования и развития информационного общества носит объективный характер.

Цифровое общество (ЦО) разных стран находятся на различных этапах своего развития (начальная стадия - formative stage, стадия развития - developmental stage, зрелая стадия - mature stage) в зависимости от развития ИКТ и их использования в различных целях всеми слоями общества. Развитие цифрового общества определяется развитием четырех ключевых доменов: электронное правительство (e-government), электронная коммерция (e-commerce), электронные сети (e-networking), электронная деятельность (e-working).

Представление информации в цифровой, электронной форме (электронные новости, электронные журналы, электронные документы, электронные книги и т.д.) привело к понятию цифрового, электронного общества. Технической предпосылкой создания цифрового общества является развитие информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Формирование ИО в каждой стране, в конечном итоге, ведет к формированию глобального информационного общества. При этом в каждой стране есть свои особенности этого процесса, вытекающие из исторических, политических, социально-экономических и культурных условий.

Современные информационно-коммуникационные технологии являются фундаментом для построения цифрового общества и, одновременно, причиной необходимости обеспечения безопасности этого общества. Неправомерная деятельность в киберпространстве цифро-

вого общества криминальных элементов или террористов способна приводить к огромным физическим, психологическим, и моральным разрушениям, деградации личности и государства.

Отсюда можно выделить опасный источник угроз интересам человека – использование во вред его интересам персональных данных, накапливаемых органами государственной власти, а также «расширение возможности скрытного сбора информации, составляющей его личную и семейную тайну, сведений о его частной жизни».

Риски существуют как для человека, так и для государства: это неконтролируемое распространение информационного оружия и развертывание гонки вооружений в этой области, попытки реализации концепций ведения информационных войн, что может нанести ущерб интересам государства, его безопасности в различных сферах жизнеобеспечения, включая мировоззренческие основания его стабильности и суверенитета. [3].

Подводя итоги, следует отметить, что развитие цифрового общества на его современной стадии, называемой обществом знания, носит противоречивый характер, связанный с объективными потребностями в развитии данного общества и теми антропологическими рисками, которые при этом возникают. Наиболее значимыми потребностями являются: потребность в самоидентификации, новом знании и соответствующих ему видах деятельности, доверии. Реализация этих потребностей порождает специфические риски: утраты идентичности, гиперактивности, утраты доверия, которые являются определяющими для современной стадии развития информационного общества. Следует отметить, что они являются сущностными проявлениями информационной эпохи и принципиально неустранимы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гейтс Б. Бизнес со скоростью мысли. М.:ЭКСМО, 2007.
2. Гладилина И.П., Золотухина Ю.В. Концепции информационного общества и развитие цифровой экономики // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2017. Том 7. № 9А. С. 145-154.
3. Никулина Н. Ю., Гудакова Е. В. Риски современного информационного общества // Молодой ученый. 2015. №1. С. 361-363.

УДК101.1:316.

УДК 111.852:604.7

Магистрант Я. Л. Страх  
Научн. рук. член-кор. НАН Беларуси,  
д-р филос. наук, проф. П.А. Водопьянов  
(кафедра философии и права)

### **СОЦИАЛЬНО-ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОТЕХНОЛОГИИ**

В современном мире трудно представить жизнь человека без достижений биотехнологии. Быстрое развитие данной области знания привело к её разветвлению на биоинженерию, биомедицину, биофармакологию, генную инженерию, клонирование, биоинформатику, бионику, биоремедиацию и др. Биотехнология открывает возможность увеличить продолжительность жизни людей, избавиться от многих заболеваний, производить продукты питания и многое другое. Вместе с тем, достижения в области клонирования и генной инженерии вызывают необходимость рассмотрения их социально-этических аспектов.

Клонирование подразделяют на два основных направления: репродуктивное, в результате которого появляется клон человека, и терапевтическое, в результате которого развитие появившегося эмбриона останавливается через 14 дней, а он сам используется для получения стволовых клеток. Однако при этом возникают сложные вопросы: во-первых, можно ли допускать клонирование людей и, во-вторых, чем мы считаем эмбрион – просто конгломератом клеток, потенциальным человеком, или человеком уже состоявшимся и живым?

Исследования в области клонирования человека запрещены во многих странах, в первую очередь, по этическим соображениям. Запрет на репродуктивное клонирование обусловлен рядом аргументов, таких как: крайне низкая результативность клонирования и высокая летальность среди клонов, неопределенность влияния клонов на развитие человека и структуру общества, значительные проблемы в формировании личностного самосознания и особые трудности с интеграцией клонов в человеческое общество и опасность клонирования, как средство ограничения генетического разнообразия человека [1].

В природе довольно часто встречаются генетически идентичные люди – однояйцовые близнецы, которые, в каком-то смысле, аналогичны клонам, так как обладают одинаковым набором генов. Однако становление человека как личности основывается не только на наследственности. Оно определяется семейной, социальной и культурной средой, которую при клонировании воспроизвести невозможно. Следовательно, естественные близнецы являются более одинаковыми, чем клоны, так как естественные близнецы имеют одинаковый воз-

раст, в то время как клон и донор ДНК обычно будут иметь разницу в возрасте в несколько десятков лет [2].

В терапевтическом клонировании для разработки технологий получения стволовых клеток из эмбрионов понадобятся сотни или тысячи человеческих эмбрионов. Вопросы относительно терапевтического клонирования связаны в основном с технологией его проведения. В настоящее время реально осуществима только технология клонирования, предполагающая выращивание клона до определенного предела *in vivo*, однако, эту проблему возможно решить разработкой технологий и оборудования для выращивания зародыша *in vitro*.

Научного теста, позволяющего однозначно определить, кем или чем являются эмбрионы – конгломератом клеток, потенциальными людьми или полноценными людьми – просто не существует. Этот вопрос является одной из моральных дилемм биоэтики. Вообще, дилемма – это полемический довод, затруднительная ситуация, имеющая два возможных варианта ее разрешения, взаимно исключающих друг друга и не допускающих возможности существования третьего. При этом выбор одного из этих двух решений одинаково затруднителен. Отличительной чертой моральной дилеммы является то, что ее решение всегда связано с тяжелым моральным выбором. А. Макинтайр говорит о невозможности разрешения некоторых моральных дилемм лишь на основе абстрактного морального принципа, поскольку на каждый аргумент найдется довольно весомый контраргумент [3].

В связи с технической сложностью, а именно, дороговизной генных технологий, возникает затруднение доступа различных слоев населения к их использованию. Существует неравенство между различными слоями населения в доступе к новым биотехнологиям, которое определяется преимущественно экономическими и социально-политическими факторами. Возникают проблемы социальной справедливости в области современной биомедицины.

Серьезные социально-этические вопросы возникают с возможностью реализации идеи генетического паспорта, где будет указано есть ли у данного индивидуума та или иная мутация, что несет угрозу для здоровья, тот или иной ген, отвечающий, например, за предрасположенность к алкоголизму. Конечно, эти данные должны быть конфиденциальными, но не исключаются различного рода утечки информации. Поэтому возникает угроза дискриминации, возникновения чувства ненормальности у людей-носителей определенных генов; угроза сегрегации – отказа в приеме на работу на основании геномной диагностики, угроза отказов в предоставлении социальной помощи и др.

Социально-этические проблемы создания трансгенных растений и животных возникли в результате широкого использования методов генной инженерии в области улучшения их качественных характеристик. Получение трансгенных организмов является достаточно хорошо отработанной технологией. Методы генной инженерии позволили получить высокоурожайные и устойчивые к различным факторам окружающей среды культуры растений, животных, производящих в больших количествах белки, имеющих применение в медицине и многое другое.

К сожалению, основной социальной проблемой в сфере генетически модифицированных организмов является недостоверность и искажение фактов средствами массовой информации с целью получения коммерческой выгоды для заинтересованных предприятий, а так же для самих изданий. Используются простые приемы психологии и манипуляции сознанием обывателей, навешивание ярлыков, приведение параллелей с известными для обывателя напастями.

Одним из путей, который поможет решить современные социально-этические проблемы биотехнологии является биоэтика, поскольку она ориентирована на решение проблем здравоохранения, на исследования влияния научного знания и биотехнологий на человека и всю сферу живого, направлена на способы решения глобальных проблем человечества на основе внедрения в практику моральных императивов [4].

В биотехнологии, как и в большинстве наук, несмотря на большое количество положительных аспектов, существуют риски, которые могут оказать нежелательное, а порой и губительное воздействие на окружающую среду и человека. Поэтому одной из первостепенных задач биотехнологии было и по-прежнему остается соблюдение этических норм, что позволит смягчить, если не нивелировать негативные последствия ее развития и использования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дегтерев, Н.Д. Клонирование: правда и вымысел. / Н.Д. Дегтерев – СПб.: ИК Невский проспект, 2002 – 78 с.
2. Гнатик, Е.Н. Генетика человека: былое и грядущее / Е.Н. Гнатик. – М., 2015 – 280 с.
3. Макинтайр, А. После добродетели / А. Макинтайр – М.: Академический проект; Екатеринбург: Деловая книга, 2000. – 383 с.
4. Ермишин, А.П. Генетически модифицированные организмы и биобезопасность / А.П. Ермишин – Минск: Беларуская навука, 2013. – 171 с.

УДК 1:001.8:004.8

Магистрант П.А. Липницкий  
Научн. рук. член-корр. НАН Беларуси,  
д-р филос. наук, проф. П.А. Водопьянов  
(кафедра философии и права)

## **КОНВЕРГЕНЦИЯ НАУК И ТЕХНОЛОГИИ – НОВЫЙ ЭТАП НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

В конце XX века цивилизационный кризис перешел в новую – системную – фазу, охватывая все сферы общественной жизни, проявляясь в экологическом, ресурсном, экономическом, социально-политическом, финансовом и т.д. [1]. Системный кризис не может быть разрешен в рамках сложившейся парадигмы развития, основанной на активно-преобразовательном отношении человека к окружающей природе.

Благодаря достижениям науки была создана столь развитая цивилизация, которая, познавая законы окружающего нас мира, преобразует его с помощью все более сложных и совершенных технологий [2]. На протяжении веков человечество повышало с помощью научно-технического прогресса производительность труда и объем производимой продукции, не заботясь о последствиях этого роста. Сама парадигма развития нашей цивилизации с момента ее зарождения до сегодняшнего дня сводилась к тому, чтобы взять у природы ее ресурсы «любой ценой». В результате сформировалась ресурсозатратная и разрушающая природную среду техносфера, все более увеличивается разрыв между жизнью природы и хозяйственной деятельностью человека. Человечество создало для себя параллельную среду обитания – техносферу, которая существует в рамках биосферы. Вместе с тем человек с помощью техносферы перестроил многие природные процессы и явления, тем самым нарушая их естественное протекание.

Как показывает опыт второй половины XX века, данное противоречие не может быть разрешено путем трансформации тех или иных компонентов существующего технологического уклада. Построенная на отраслевом принципе техносфера объективно не может гармонично сосуществовать с биосферой. Необходима принципиальная, революционная перестройка всего технологического базиса в неразрывной связи его научной, производственной, социально-политической и культурной составляющих [1].

Задача преодоления системного кризиса цивилизации и выживания человечества становится важнейшей задачей

формирования новой ноосферы, в которой техносфера должна быть органичной составляющей биосферы.

Осуществляя синтез природоподобных систем и процессов, человечество вскоре приблизится к созданию антропоморфных технических систем, высокоорганизованных «копий живого». Решение этих задач возможно на базе объединения (конвергенции) методологии нано-, био-, информационных технологий с подходами и методами когнитивных наук и технологий, изучающих и моделирующих сознание человека, его познавательную деятельность.

Под конвергенцией (от лат. *Convergo* – сближаю) понимается процесс сближения или схождения в различных областях естественных и гуманитарных наук (политике, биологии, лингвистике, технологиях и т. д.) [3]. Конвергенция касается объединения четырех глобальных направлений сегодняшней науки и технологий NBIC: N – это нано, новый подход к конструированию материалов «под заказ» путем атомно-молекулярного конструирования, B – это био, что позволит вводить в конструирование неорганических материалов биологическую часть и таким образом получать гибридные материалы, I – информационные технологии, которые дадут возможность в такой гибридный материал или систему «подсадить» интегральную схему и в итоге получить принципиально новую интеллектуальную систему, а C – это когнитивные технологии, основанные на изучении сознания, познания, мыслительного процесса, поведения живых существ и человека, в первую очередь, как с нейрофизиологической и молекулярно-биологической точек зрения, так и с помощью гуманитарных подходов. Внедрение когнитивных технологий даст возможность, основываясь на изучении функций мозга, механизмах сознания, поведения живых существ, разрабатывать алгоритмы, которые фактически и будут «одушевлять» создаваемые нами системы, наделяя их неким подобием мыслительных функций.

Ранее главная цель науки заключалась в стремлении проанализировать и понять, каким образом устроен окружающий мир, при этом мы шли «сверху», то есть двигались в сторону уменьшения размеров создаваемых предметов – отрезали все лишнее. В итоге мы получали доску или металлическую деталь, но большая часть наших усилий – материальных и технологических – сводилась в конечном итоге к образованию побочных продуктов и загрязнению окружающей среды. Сейчас мы начинаем идти «снизу», с уровня атомов, складывая из них, как из кубиков, материалы и системы с заданными свойствами. Фактически речь идет о создании технологий

и оборудования основанном на атомно-молекулярном уровне с целью конструирования различных материалов. Если двигаться по этому пути, то переход к нанотехнологиям, к атомарному конструированию дает важнейший результат – дематериализацию производства и резкое качественное уменьшение энерго- и ресурсоемкости [4].

Новая технология нанокалькулятора состоит в том, что создаются новые материалы, необходимые практически для всех отраслей промышленности, и, следовательно, речь идет о формировании рынка принципиально новой продукции в рамках существующего экономического уклада.

Таким образом, благодаря объединению естественных и гуманитарных наук с созданием NBIC технологий стали возможны исследования по созданию новых органических материалов с заранее заданными свойствами, новых видов организмов, расширение имеющихся знаний в различных областях науки и т. д. Благодаря конвергенции наук будут увеличены продолжительность и качество жизни человека за счет использования различных биотехнологий, базируясь, в частности, на достижениях в области генетики, ДНК, евгеники и клонирования, а также стволовых клеток и др. Биотехнологическая революция будет опираться не только на науку о жизни, но и на микроэлектромеханические системы MEMS (Microelectromechanical systems), новые «умные материалы», технологии сканирования и биосенсоры [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальчук, М.В. Конвергенция наук и технологии – новый этап научно-технического развития / М.В. Ковальчук, О.С. Нарайкин, Е.Б. Яцишина // Вопросы Философии. – 2013. – №3.
2. Ковальчук, М.В. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы / М.В. Ковальчук, О.С. Нарайкин // Журнал индекс безопасности. – 2016. – Т. 22, № 3–4 (118–119). – С. 103–108.
3. Феськов, И.В. Глобализационные основания теорий конвергентности / И.В. Феськов // Актуальные проблемы политики. – Киев, 2015. – С. 59–67.
4. Ковальчук, М.В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее / М.В. Ковальчук // Наука и технологии в промышленности. – Курчаты: 2011. – С. 64–74.
5. Баксанский, О.Е. Конвергенция знаний, технологий и общества: за пределами конвергентных технологий / О.Е. Баксанский // Журнал философия науки и образования. – 2014. – С. 1061–1068.

УДК 159. 995: 316:723

Магистрант. М. С. Колесова  
Науч. рук. зав. кафедрой, доц. П. М. Бурак  
(кафедра философии и права, БГТУ)

### **ФЕНОМЕН КЛИПОВОГО МЫШЛЕНИЯ И ЕГО РИСКИ**

Актуальность исследования данной темы связана с увеличением роли информационных технологий в формировании, хранении и использовании научных и других знаний для различных целей и возникающих при этом нежелательных явлениях связанных с проблемой дефицита логических навыков их интерпретации. Информационные технологии широко применяются в быту, производстве, учреждениях, системе образования в целом. Целью исследования является описание проблемы клиповости в построении информации, ее негативных и позитивных проявлений в восприятии человека.

Слово «клип», люди, чаще всего, соединяют с музыкой, видео и это не случайно, поскольку в переводе с англ. «clip» – «отсечение; вырезка (из газеты); отрывок (из фильма), нарезка». По принципу построения музыкального клипа строится и клиповое мировоззрение, то есть человек воспринимает мир не целостно, а как череду почти не связанных между собой частей, фактов, событий. Владелец клипового мышления затрудняется анализировать какую-либо ситуацию, ведь её образ не задерживается в мыслях надолго, он почти сразу исчезает, а его место тут же занимает новый. Клиповое мышление – это процесс отражения множества разнообразных свойств объектов, без учета связей между ними, характеризующийся фрагментарностью информационного потока, отсутствием целостной картины восприятия окружающего мира [1].

О феномене «клипового сознания» как принципиально новом культурном явлении эпохи информационного общества, заговорили в 1960-х гг. Одним из первопроходцев в исследовании клипового мышления считается французский социолог А. Моль. Сам термин «клиповое мышление» в философско-психологической литературе появился в конце 90-х годов XX века и обозначал особенность человека воспринимать мир посредством короткого, яркого посыла, воплощенного в форме видеоклипа. Культуролог К.Г. Фрумкин определяет клиповое мышление, как вектор в развитии отношений человека к информации, выражающихся в способности быстрого переключения, перехода от одного к другому в группировке разрозненных смысловых фрагментов, при одновременной неспособности к восприятию длительной ли-

нейной последовательности — однородной и одностильной информации.

Чтобы понять, какие последствия появления клипового сознания следует оценивать как негативные для человеческой культуры и что может быть полезным для ее развития, важно непредвзято охарактеризовать соответствующие изменения в мышлении человека. По некоторым оценкам люди мыслящие клиповыми образами имеют функционально быстрый ум, формулируют мысли коротко, отдельными фреймами, синтезирующими много различной информации. У них развивается способность решать несколько задач одновременно. Такое мышление является фактором концентрации внимания и формирования у людей многозадачного способа отражения условий существования и их изменения. Человек учится быстро переключать внимание с одного объекта на другой. Клиповое мышление может использоваться как защитная реакция организма от информационных перегрузок. Кроме того, если учитывать всю ту информацию, которую видит и слышит человек повседневно, то нет ничего удивительного в том, что его мышление меняется, подстраивается, адаптируется к миру, который насыщен событиями, картинками самого разнообразного содержания. В качестве одной из побудительных причин клиповости мышления выступает желание человека охватить как можно больше информации. Клиповое мышление направляет человека на постоянный поиск и поглощение все новой и новой информации, что является определенным фактором интеллектуального развития. Еще один плюс клипового мышления это — оперирование сразу несколькими средствами восприятия. В этом процессе в первую очередь активничает зрительный анализатор. Некоторые специалисты отмечают такие свойства клипового мышления как легкость ассоциирования, быструю реакцию на сходство впечатлений, причем в их связках [2].

К отрицательным свойствам клипового мышления относится, например, снижение способности к анализу информации. Люди, обладающие клиповым мышлением, часто оказываются неспособными выделять главные детали и ключевые моменты в событиях, знаниях, мировоззрении, а также принимать решения на основе проведенного анализа. В результате человек учится не осмысливать, а только потреблять информацию. Клиповое мышление характеризуется сниженной способностью к концентрации внимания. Названные особенности клипового мышления делают людей неспособными сосредоточиться на одной теме — они с трудом могут удерживать внимание, перескакивают с одного вопроса на другой, не могут вникнуть в суть. Можно

отметить снижение эффективности обучения и усвоения знаний. Современные школьники и студенты, которые являются основными носителями клипового мышления, плохо воспринимают и запоминают учебный материал, не умеют правильно излагать свои мысли, им тяжело писать сочинения. У людей с клиповым мышлением отмечается снижение чувства сопереживания. Люди, ежедневно поглощающие большие объемы информации, среди которой преобладают сцены жестокости и насилия, постепенно утрачивают способность сопереживать чужому горю, становятся равнодушными, теряют чувство ответственности. Люди с доминированием клипового мышления оказываются неспособными решать сложные задачи, как в процессе обучения, так и в повседневной жизни.

Феномен клипового мышления имеет больше недостатков, чем достоинств. Исследования психологов показывают, что, несмотря на развитие виртуального общения и дружбы в соцсетях, представители современного молодого поколения становятся все более одинокими в реальной жизни. Недостаток живого общения порождает замкнутость, чувство одиночества и неудовлетворенности. В результате этого возрастает риск возникновения депрессий, нервных расстройств, суицидальных настроений. Многие ученые считают, что сегодня можно утверждать, что из-за распространения клипового сознания наше общество стоит перед угрозой культурной деградации. Следует помнить, что клиповое мышление может приносить пользу в определенных ситуациях, требующих быстрого реагирования или частого переключения внимания, но оно не должно становиться преобладающим типом мышления в повседневной жизни. [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Семеновских Т.В. «Клиповое мышление» — феномен современности [Электрон-ный ресурс] / Т. В. Семеновских // Оптимальные коммуникации: эпистемический ресурс Академии медиаиндустрии и кафедры теории и практики общественной связности РГГУ. – Режим доступа: <http://jarki.ru/wpress/2013/02/18/3208/>. – Дата доступа: 27.03.2019
2. Себель А. А. Клиповое мышление // Педагогика и психология. 2015. №1. С. 7-11.
3. Докук С. В. Клиповое мышление как феномен информационного общества // Общественные науки и современность. 2013. №2. С. 169-176.

УДК 608.1

Магистрант А.М. Залуцкая  
Научн. рук. зав. кафедрой, доц. П.М. Бурак  
(кафедра философии и права)

## **СОВРЕМЕННЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ СОЦИАЛЬНО-ЭТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ**

Генетические технологии в конце 20 – начале 21 века прочно вошли в медицинскую практику. В области современных генетических технологий доминирует тенденция конструирования, видоизменения биологической природы растительных и животных организмов. К подобным технологиям относятся технологии генетического модифицирования, генная терапия, клонирование животных.

В ходе научных разработок и применения генных технологий выявился ряд серьезных этических проблем, связанных с вмешательством в механизмы сохранения разнообразных форм жизни на Земле, а также сохранения биологической аутентичности человека.

Область этических проблем, возникших в связи с развитием такого рода направлений в генетике, обусловлена рядом причин. Со времен античных философов в западноевропейской культуре утвердилась идея о том, что природа человека несовершенна и предназначение человека в том, чтобы использовать все свои силы и возможности для устранения своего собственного несовершенства.

Данная проблема явилась исходным условием формирования моральных оснований для признания допустимости вмешательства в биологическую, в том числе и генетическую природу человека. В конце 20 века активно исследовалась проблема степени генетической обусловленности поведения человека, в том числе его интеллекта, характера, способностей и т.д. К началу 21 века выделяется проблема возможности «создания» человека с «откорректированным» генетическим кодом [1].

В настоящее время появились научные знания и технологии, которые могут быть использованы для устранения ряда этих «несовершенств». В этой связи возникают проблемы моральных границ, условий и критериев применения генных технологий, что выражается в следующих вопросах. В какой степени, при каких условиях и с какой целью могут быть применены те или иные генные технологии?

Идея генетического усовершенствования человека предполагает, что биологические признаки могут быть зафиксированы, определены их количественные параметры и они могут программироваться. С

этими вопросами неразрывно связано решение задачи определения допустимой нормы изменений биологических признаков и отклонений от нее, как в лучшую, так и в худшую сторону. В настоящее время установлены нормы не только для биологических процессов, протекающих в организме человека, но и для интеллектуального, психического, социального и культурного развития. Ухудшающие отклонения биологических признаков от таких норм вызывают желание некоторых ученых «что-то исправить» в человеке.

Большинство специалистов в области этических проблем генных технологий сходятся во мнении, что уникальность жизни каждого отдельного человека и ценность каждого человеческого существа должны исключать генетические улучшения [2].

В настоящее время в области разработки и использования генных технологий существует ряд проблем, вызывающих этические опасения:

- проблема использования генных технологий для улучшения природы человека;
- проблема доступа различных слоев населения к возможности их использования;
- проблема генетического скрининга населения и генетической паспортизации населения;
- проблема сохранения тайны генетической информации;
- проблема коммерциализации процесса использования генетической информации и генных технологий;
- проблемы научных исследований в области разработки и совершенствования генных технологий;
- проблемы трансгенных растений и животных [3].

Проблемы защиты прав человека при использовании современных генетических технологий широко обсуждались различными международными организациями (ООН, ЮНЕСКО, Совет Европы и его комиссии, ВОЗ, HUGO, Европейское общество генетики человека, Форум комитетов по этике государств-участников СНГ и др.) [4, 5].

Представители религии высказывают различные мнения о приемлемости применения тех или иных генных технологий. Позиция Католической и Русской Православной Церквей заключается в том, что использование генной терапии в принципе пригодно для излечения болезней и для исправления определенных дефектов [6].

Отношение к человеку как к объекту генетического манипулирования очень неоднозначно и ставит под угрозу границу между человеком и вещью.

После открытия ДНК, генов, способов хранения и передачи наследственной информации в живых объектах возникло много дочерних отраслей - самостоятельных дисциплин: геновая инженерия, клеточная терапия, биосинтез разнообразных биологически активных веществ. Это - короткий список тех достижений науки, которые делают нашу жизнь оптимистичнее и обозначают много нерешенных вопросов и противоречий.

В ДНК-технологиях каждая ошибка может стать роковой, может случиться непоправимое - потеря человеком контроля над распространением искусственных, чуждых организму генов, что фактически может вызвать некое необратимое, катастрофическое изменение жизни, человека, его деградацию.

Человечество находится на пороге революции в биологии и само его будущее зависит от того, хватит ли у нас научно обоснованных решений и просто жизненной мудрости для использования результатов современных генетических технологий во благо живущих и будущих поколений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Савченко, В.К. Геном и будущее человека: конвергенция технологий и этические риски их применения // Наука и инновации. 2018. №4. С. 4–9.
2. Хен, Ю.В. Евгенические стратегии будущего: качественная демография или либеральная евгеника // Гуманитарный век. 2017. Т.12. №1. С. 82–86.
3. Федорин, В.В. Философско-методологический анализ проектов генетического консультирования человека : дис. ... канд. филос. наук : 09.00.08. М., 2017. 157 л.
4. Концевенко, А.С. Правовое регулирование биомедицинских исследований и применения новых биотехнологий в Европейском Союзе : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.10. М., 2015. 175 л.
5. Левченко А.А. Правовые и этические аспекты геновой инженерии // Современные тенденции развития науки и технологии. 2016. Т.4. №2. С. 54–59.
6. Летов, О.В. Биоэтика и религия // Социальные и гуманитарные науки. 2015. № 3. С. 79–91.

УДК 517.11+517.98

Магистрант А. С. Кузьма  
Науч. рук. доц. П. М. Бурак  
(кафедра философии и права, БГТУ)

### **ПСЕВДОНАУКА В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

С тех пор как человечество обрело способность излагать мысли и передавать опыт познания окружающего мира, между знанием и незнанием образовалась промежуточная область, в которой всегда находилось место для описания загадочных действий колдунов, предсказаний астрологов, неопознанных летающих объектов и многого другого, что составляет предмет «альтернативной науки». В последнее время – время, когда мир захлестнула волна «информационной революции» у некоторых представителей различных социальных групп значительно обострился интерес к сверхъестественному, к отрицанию завоеваний разума, ко множеству проявлений иррациональности и мистицизма в нашей повседневной жизни. Конечно же, подобные тенденции имели место на протяжении всей человеческой истории, но ведь именно сейчас эта тематика стала наиболее актуальной, а потому получила широкое распространение как в плане публикационного материала, так и по различным вопросам познания, являющихся предметом всевозможных дискуссий.

Казаков М.А. в своей работе «Псевдонаука как превращенная форма научного знания» [1] приводит один из вариантов классификации, а именно различие четырех подвидов превращенной формы научного знания – паранауки, квазинауки, лженаучных дисциплин и антинауки.

Под паранаукой следует понимать попытку решения научных или вненаучных проблем способами, «альтернативными» тем, которые предлагает наука. Чаще всего эти решения основываются на стихийных доводах обыденного сознания и маркируются самими адептами паранауки как «нетрадиционные», «проверенные временем» или «неофициальные» подходы. Знакомство с такого рода материалами позволяет утверждать, что решение какой – либо проблемы в паранауке может опираться на частично истинные утверждения, а значит и претендовать на некоторый позитивный результат.

Квазинаука представляет собой имитацию научной деятельности и полученного в ходе исследования результата при соблюдении общих норм научного исследования. В одних случаях на основе научной методологии исследуется либо полностью несущественный для

науки вопрос, либо получается результат, ничем не отличающийся по качеству от результатов, ранее достигнутых в других исследованиях.

Термин антинаука можно понимать как отдельный подвид превращенной формы научного знания, представляющий собой совокупность идей, практик и социальных инициатив, сознательно направленных против научного сообщества с целью дискредитации науки и ученых. К антинаучным можно отнести разного рода конспирологические теории, в которых ученых пытаются представить заговорщиками или манипуляторами.

Под лженаучными дисциплинами стоит понимать те, которые изначально вступают в противоречие с научным знанием или ставят своей целью противодействие научному знанию и научному мировоззрению.

От общей схемы классификации перейдем к рассмотрению сущностных признаков, конкретных нарушений связей, возникающих в системе, копирующей научное знание по форме и вступающей с ним в противоречие по характеру своей сущности.

В литературе отмечается 15 свойств, характеризующих превращенные формы научного знания [1]:

1. Использование мифологических, религиозных или политических установок в научно-исследовательской работе.

2. Обращение к понятиям, теоретическим системам или идеальным объектам, представляющим собой умозрительные конструкты, либо не имеющим референта, либо операционально бесполезным.

3. Отсутствие на протяжении длительного времени того или иного результата (доказательства или опровержения теории) в рамках прикладных исследований при декларации прогресса

4. Невозможность опровергнуть или подтвердить истинность теории при утверждении автора теории о ее безоговорочной истинности.

5. Игнорирование определенных фактов физической реальности, которые не вписываются в картину мира, предлагаемую автором псевдонаучной концепции, или подстройка фактов и теорий науки под картину мира, формулируемую псевдоученым, вплоть до сочетания реальных фактов и несуществующих.

6. Апелляция к авторитету ученого или влиятельного в обществе человека вместо отсылки к конкретным научным фактам; использование регалий (часто фальшивых) с целью произвести впечатление на оппонента в научном споре вместо демонстрации доказательств, превосходящих доказательства соперничества.

7. Злоупотребление научной терминологией, приписывание научным терминам значений, отличающихся от общепринятых, «жонглирование терминами».

8. «Пифагорейский синдром». По мнению Аронова, под ним следует понимать «отождествление теоретических структур, математических форм, абстрактных симметрий, научных законов, являющихся элементами теории, с соответствующими структурами, формами, симметриями, законами объективного мира, существующими вне и независимо от какой бы то ни было теории».

9. Претензии на бескомпромиссность, «революционный характер», быстрые и новаторские позитивные результаты, которых наука неспособна достичь в принципе или же в данный момент.

10. Виктимная стратегия мышления — попытки автора псевдонаучной теории выставить себя жертвой некоего заговора, зависти или консервативных установок, приписываемых науке.

11. Апелляция к СМИ вместо научного сообщества.

12. Создание «прибавочного смысла»: поиск и создание произвольных связей между реально существующими явлениями и процессами.

14. Чрезмерное усложнение легких объяснений или, наоборот, чрезмерное облегчение объяснений, требующих более широких выкладок.

15. Исходя из особенностей современных общественных отношений, можно также требовать применения «утилитаристского» критерия для различения науки и псевдонауки. Под ним следует понимать отсутствие массового внедрения и коммерческого использования предложенной «альтернативной» практики или технологии.

Параллельно с наукой развивалось множество учений, якобы основанных на научной методологии, но на деле лишь имитирующих профессиональный подход. Они часто предлагают простые решения для задач, серьезное изучение которых требует специальной профессиональной подготовки. Сайт о современных знаниях «Теории и практики» составили список самых известных псевдонаук и рассказали, почему им так и не удалось заслужить доверие ученых [2]: астрология, френологи, гомеопатия, парапсихология, уфология, нумерология, криптозоология и криптоботаника, хиромантия, соционика, физиогномика, фолк-истори.

Социальные последствия псевдонауки особо разрушительны и главные из них сформулированы в статье А. М. Хазена [4]. Социальная опасность псевдонауки состоит в том, что она, иногда необратимо, блокирует развитие неустранимо важных направлений науки, управления государством и форм общественных отношений. Другой класс

примеров социальных последствий псевдонауки связан с общественными процессами. Научные работы середины XIX века стали основой узких специализаций современных наук. Но их конкретные результаты за это время были многократно уточнены. В общественных науках по политическим причинам такое оказалось под запретом. В результате, например, современный «коммунизм» как научная проблема не получил дальнейшего развития, а превратился в псевдонауку. Ещё одна группа социальных последствий псевдонауки тесно связана с тем, что она дискредитирует разумную политику и политиков, а также демократию.

Сейчас псевдонаучная деятельность основывается на естественном желании человека быть здоровым и в его понимании привлекательным. Это, в свою очередь, привело к коммерциализации псевдонауки; предлагаются многочисленные новые и весьма эффективные способы быстрого и абсолютного безопасного лечения, внедряются различные медицинские услуги по лечению тяжелых болезней (рак, наркомания и т.д.), по избавлению от лишнего веса, по предотвращению выпадения волос и др. Это достаточно частое явление современной реальности.

Подытожив вышесказанное можно сделать вывод, что современному обществу не хватает критического мышления. Умение грамотно исключать случайные совпадения с помощью статистических тестов, желание признавать свои ошибки, проверять источники – поможет избежать распространения псевдонаук.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков М. А. Псевдонаука как превращенная форма научного знания / М. А. Казаков // *Философия науки и техники* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/psevdonauka-kak-prevrashchennaya-for-ma-nauchnogo-znaniya-teoreticheskij-analiz>. – Дата доступа: 12.04.2019.
2. Фолк-хистори, единороги и плоская Земля: 11 популярных псевдонаук // *Теории и практики* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://theory-andpractice.ru/posts/8490-pseudoscience>. – Дата доступа: 12.04.2019
3. Хазена А. М. О лженауке, ее последствиях // *Научная сеть* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1193243&s=>. – Дата доступа: 12.04.2019

УДК 165/167

Магистрант Я.В. Боркина  
Научн. рук. член-корреспондент НАН Беларуси,  
д-р филос. наук, проф. П.А. Водопьянов  
(кафедра философии и права)

## **ФИЛОСОФСКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНОГО МЫШЛЕНИЯ И ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Современная эпоха характеризуется значительным возрастанием роли техники в жизни общества. Развитие техники в этих условиях связано с перестройкой всей структуры общественного производства, с изменением форм и характера человеческого труда в различных сферах общественной деятельности – производственной, научной, культурной и других, ведет к изменению самого образа жизни современного человека. Это вызывает необходимость решения ряда важнейших мировоззренческих, социальных и методологических проблем, требующих философского осмысления. Эта задача нашла отражение в философско-социологических исследованиях, касающихся деятельности инженеров, изучения социально-экономических и социально-психологических проблем инженерного труда.

В конце XX – начале XXI в. исследователи ряда ведущих стран в явном виде выдвинули программу философии инженерии, которая направлена на создание новых материальных предметов.

Предметом исследования в философии выступает процесс по управлению, планированию, проектированию сложных технических и человеко-машинных систем, характеризующийся регулярным применением научных знаний, гуманитарными, ценностными и креативными составляющими [1].

Цель инженерной деятельности направлена на разработку средств, методов, приемов преобразования среды в техносферу, которая выступает как процесс производства.

Характерной особенностью инженерной деятельности является постоянное использование научных знаний в целях создания искусственных технических систем, а также проведение дополнительных научно-технических исследований в случае, если имеющихся знаний недостаточно для решения тех или иных инженерных задач [2].

Структурно в рамках методологического подхода к рассмотрению инженерной деятельности отдельные авторы, относят следующие аспекты: особенности инженерной деятельности; квалификационные требования к инженерной подготовке; взаимосвязь инженерной дея-

тельности и инженерного творчества; проектирование; соотношение производства и оборудования; испытания; эксплуатация машин и оборудования; вопросы сертификации машин, оборудования и технологий; управление деятельностью [3].

Несмотря на многоаспектность инженерной деятельности в ее архитектонике можно выделить элементы, составляющие основу технической рациональности, как способности творческого создания второй природы. К ним необходимо отнести: открытия, инженерные исследования, проектирование, изобретательство, конструирование, испытание, отладка, организация производства, эксплуатация, управления техническими системами, оценка их функционирования и др. [2]

Социально-философская оценка современной инженерной деятельности основана на анализе существующих рисков и, как следствие этого, преодолении кризиса техногенной цивилизации. Такого рода деятельность по проектированию, производству и применению техники как инструмента цивилизационного развития вызывает опасения за судьбу человечества и живой природы на Земле. Это ведет к деградации биосферы, практически полностью включенной человеком в техносферу. В настоящее время возникают риски крупного масштаба и применения атомного, химического и бактериологического оружия, которые приведут к экологической катастрофе. Возможно создание в обозримом будущем волновых, сейсмических, психотропных, генетических и иных военно-технических средств массового поражения, применение которых может привести к непредсказуемым последствиям.

Ответственность инженера представляет достаточно сложное по содержанию понятие, которое включает правовую (законодательную), нравственную (моральную) и личностно-субъективную составляющие его деятельности. Таким образом, задача инженера состоит не только в том, чтобы измерять и изменять пространство, но и через инженерную деятельность создавать гуманистически наполненное пространство для безопасной жизни людей [4].

Инженерная деятельность непосредственно связана с инженерным мышлением, которое можно определить как процесс, связанный с научно-технической, конструкторской (проектной), технологической деятельностью.

Особенность инженерного мышления заключается не только в овладении необходимыми знаниями будущей профессиональной деятельности, способностями предвидеть и прогнозировать путь и результаты осуществляемой или предстоящей профессиональной деятельности.

Резкое увеличение влияния науки и техники на развитие общества, появление глобальных проблем, связанных с беспрецедентным ростом производительных сил, количества людей на планете, возможностей современной техники и технологии, привели к формированию нового инженерного мышления, основой которого являются ценностные установки личности и общества, целеполагание инженерной деятельности [5].

Таким образом, в настоящее время ощущается острая потребность в освоении инженерами новой современной концепции коэволюции природы, человека и техники. Превращение инженерной деятельности в критический фактор эволюции биосферы, начавшееся практическое освоение людьми околоземного космического пространства, бурное развитие информатики, – все это определяет новые требования к уровню не только профессиональной подготовки и практической деятельности инженера, но и к пониманию им философских оснований природопотребляющей и природопреобразующей активности человечества. Будущие специалисты должны быть подготовлены к переосмыслению всего комплекса традиционных представлений о целях, функциях и структуре науки, научного познания мира.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Специфика инженерной деятельности в обществе знания / О.В. Шипелик // Альманах современной науки и образования. – 2011. – №6 (49). – С. 56.
2. Горохов, В.Г. Основы философии техники и технических наук: учеб. / В.Г. Горохов. – М.: Гардарики, 2007. – 335 с.
3. Методологические аспекты инженерной деятельности / Е.Ш. Ташлинская // Вестник УлГТУ. – 2015. – №1. – С. 29–32.
4. Кансузян, Л.В. Инженерная деятельность: социально-ценностная концепция: автореф. дис. ... докт. филос. наук: 09.00.01 / Л.В. Кансузян; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН). – Москва, 2013. – 40 с.
5. Инженерное мышление как один из основных факторов развития общества / Г.М. Гусейнов // Актуальные проблемы современной науки. – 2009. – №9. – С. 71–73.

**Секция  
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
И ТЕХНИКИ**

УДК 531.3

Студ. Н. В. Галах

Науч. рук. проф. В. С. Вихренко

(кафедра механики и конструирования, БГТУ)

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СИЛ ТРЕНИЯ НА ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ ВДОЛЬ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ТРУБКИ

Рассмотрим движение частицы вдоль трубки прямоугольного или круглого сечения, вращающейся относительно вертикальной оси  $z$

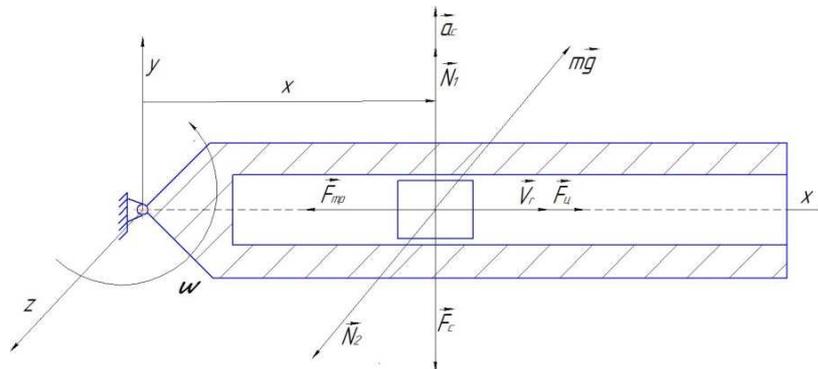


Рисунок 1 – Схема задачи и действующие силы

и запишем второй закон механики в неинерциальной системе координат [1, 2]

$$m\vec{a} = \vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{F}_c + \vec{F}_ц + \vec{F}_{тр} + m\vec{g}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы,  $N_1$  и  $N_2$  – горизонтальная и вертикальная нормальные реакции трубки,  $F_c$  и  $F_ц$  – кориолисова и центробежная силы инерции, соответственно,  $F_{тр}$  – сила трения. Проекция на ось  $x$ :

$$ma_x = -F_{тр} + F_ц. \quad (2)$$

Для прямоугольного сечения (рисунок 2) сила трения определяется суммированием по горизонтальной и вертикальной плоскостям

$$F_{тр} = f(2m\omega\dot{x} + mg), \quad (3)$$

Центробежная сила инерции определяется соотношением

$$F_ц = ma^n = m\omega^2 x, \quad (4)$$

где  $x$  – расстояние частицы до оси вращения,  $\omega$  – угловая скорость.

После подстановки во второй закон механики получим линейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами

$$m\ddot{x} = -f(2m\omega\dot{x} + mg) + m\omega^2 x, \quad (5)$$

которое приведем к каноническому виду

$$\ddot{x} + 2f\omega\dot{x} - \omega^2 x = -fg. \quad (6)$$

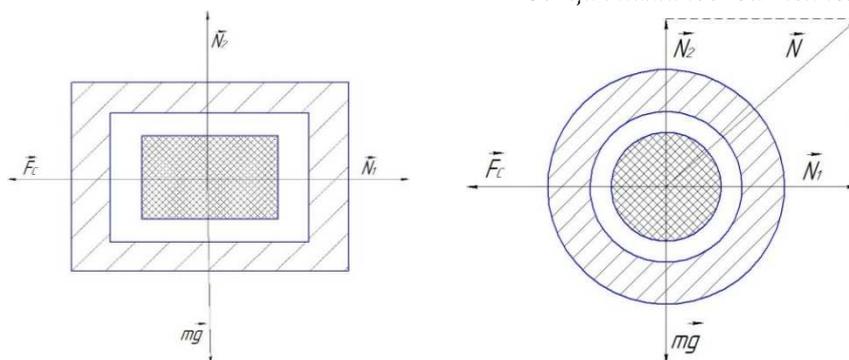


Рисунок 2 – Схемы поперечных сечений трубки

Кориолисово ускорение приводит к составляющей силы трения, пропорциональной относительной скорости движения, что аналогично действию силы вязкого сопротивления движению [3].

Общее решение дифференциального уравнения (6) имеет вид

$$x = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} + fg/\omega^2, \quad (7)$$

где корни характеристического уравнения

$$r_{1,2} = -f\omega \pm \omega\sqrt{f^2 + 1}. \quad (8)$$

Произвольные постоянные находим по начальным условиям:

$$x_0 = b, \quad \dot{x}_0 = 0. \quad (9)$$

Отметим, что движение частицы возможно лишь в случае, когда центробежная сила больше силы трения, обусловленной действием силы веса, что приводит к необходимости выполнения неравенства

$$b > fg/\omega^2. \quad (10)$$

Система уравнений для постоянных интегрирования имеет вид

$$\begin{cases} C_1 + C_2 + fg/\omega^2 = b, \\ r_1 C_1 + r_2 C_2 = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Переходя к новым постоянным путем замены  $C_1 = C + \Delta$ ,  $C_2 = C - \Delta$ , найдем

$$\begin{cases} C = (b - fg/\omega^2)/2 = b_1/2 > 0, \\ \Delta = -b_1(r_1 + r_2)/2(r_1 - r_2) = f/\sqrt{1 + f^2}, \end{cases} \quad (12)$$

и для искомого решения получим

$$x = b_1 e^{-f\omega t} \left( \operatorname{ch}(\omega\sqrt{1 + f^2}t) + \frac{f}{\sqrt{1 + f^2}} \operatorname{sh}(\omega\sqrt{1 + f^2}t) \right) + fg/\omega^2. \quad (13)$$

При отсутствии силы трения ( $f=0$ )

$$x = b \operatorname{ch}(\omega t). \quad (14)$$

Для круглого сечения сила трения определяется соотношением

$$F_{\text{тр}} = f \sqrt{(2m\omega\dot{x})^2 + (mg)^2}. \quad (15)$$

Второй закон механики при этом приобретает вид нелинейного дифференциального уравнения, которое может быть проинтегрировано только численно, что можно выполнить в программном пакете Mathcad. Результаты интегрирования представлены на рисунке 3.

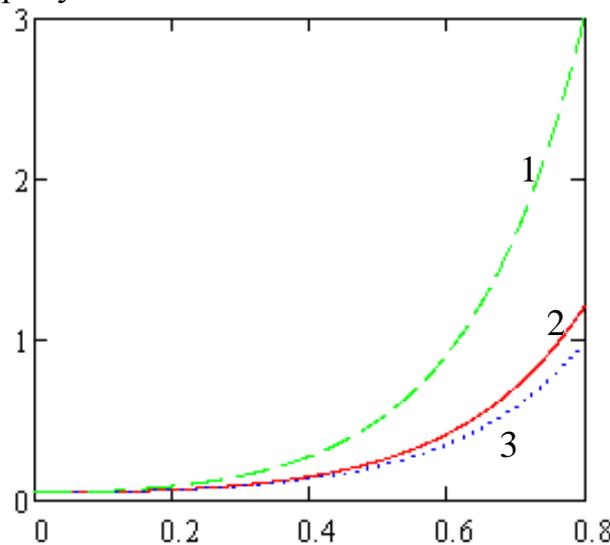


Рисунок 3 – Зависимость перемещения частицы вдоль трубки от времени (в секундах) при отсутствии трения (верхняя кривая 1), круглом (средняя 2) и квадратном (нижняя кривая 3) сечении;  $b=0,05$  м,  $\omega=6$  рад/с,  $f=0,1$

Поскольку сила трения при круглом сечении меньше суммарной силы трения при прямоугольном сечении, в последнем частица при постоянной угловой скорости движется медленнее. В итоге время вылета частицы из трубки длины  $l=1$  м прямоугольного сечения больше такового для трубки круглого сечения примерно в 1.06 раза.

Для обеспечения равномерного вращения к трубке необходимо приложить вращающий момент, для определения которого воспользуемся теоремой об изменении кинетического момента

$$dL_{Oz}/dt = M_{Oz}, \quad (16)$$

где кинетический момент системы

$$L_{Oz} = [(1/3)m_1 l^2 + m_2 x^2] \omega, \quad (17)$$

и, таким образом,

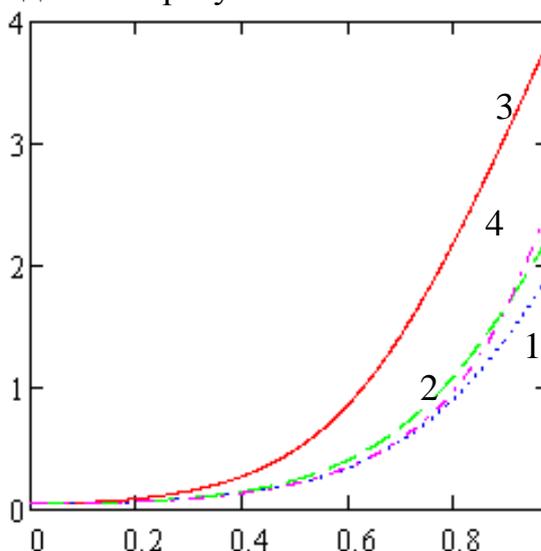
$$M_{Oz} = 2m_2x\dot{x}\omega. \quad (18)$$

Здесь  $m_1=2$  кг и  $m_2=0,2$  кг – масса трубки и частицы, соответственно.

При отсутствии вращающего момента угловая скорость трубки будет уменьшаться вследствие сохранения кинетического момента

$$\omega = [(1 + 3m_2b^2/m_1l^2)/(1 + 3m_2x^2/m_1l^2)]\omega_0. \quad (19)$$

Подставляя полученную зависимость  $\omega(x)$  в дифференциальное уравнение движения и интегрируя его для случаев прямоугольного и круглого сечений, представим результаты на Рис. 4



**Рисунок 4 – Зависимость перемещения частицы вдоль трубки от времени (в секундах) при переменной угловой скорости в круглом (кривая 1) и квадратном (кривая 2) сечениях, а также при отсутствии сил трения (кривая 3). Для сравнения показана зависимость перемещения точки от времени в прямоугольном сечении при постоянной угловой скорости трубки (кривая 4)**

Результаты вычислений показывают, что при отсутствии вращающего момента движение частицы замедляется вследствие уменьшения угловой скорости и, соответственно, центробежной силы инерции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яблонский А.А., Курс теоретической механики / А.А. Яблонский, В.М. Никифорова – М.: КноРус, 2010. – 603 с.
2. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 2010. — 416 с.
3. Наркевич, И.И. Физика / И.И. Наркевич, Э.И. Волмянский, С.И. Лобко. – Минск: Новое знание, 2004. – 680 с.

УДК 662.758

Студ. А. А. Ковалева

Науч. рук. зав. каф. А. Э. Левданский

(кафедра процессов и аппаратов химических производств, БГТУ)

## **ТВЕРДЫЕ ПРОДУКТЫ ПИРОЛИЗА АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН, ПОЛУЧАЕМЫЕ НА УСТАНОВКЕ ООО «РТСГРУПП», И ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

В мире ежегодно производится 15–20 млн. т. резинотехнических изделий, в том числе автопокрышек. Срок их эксплуатации невелик, в течение нескольких лет они превращаются в отходы. Однако резинотехнические отходы имеют определенную ценность, так как физико-механические свойства полимерной основы и других компонентов изношенного материала к концу эксплуатации существенно не отличаются от первоначальных. Следовательно, данный материал имеет определенную ценность, и поэтому вопрос о его дальнейшем использовании, а также о разработке рациональных технологических приемов переработки изношенных шин и других резинотехнических изделий является актуальным.

Существуют различные способы переработки утильной резины. Наиболее широкое применение получили методы измельчения с активацией процесса токами высокой частоты, озоном, жидким азотом, нагревом СВЧ. Эти методы различаются по степени распространенности, своим достоинствам и недостаткам.

Более перспективным методом переработки резинотехнических изделий является пиролиз – физический и химический распад материала при высоких температурах без доступа воздуха [1–2].

При пиролизе образуются газообразные, жидкие вещества, а также твердый остаток в виде технического углерода (смесь высокомолекулярных углеводородов сложного строения).

Целью исследований являлось определение возможных направлений промышленного использования твердого остатка пиролиза автомобильных шин, получаемого на установке ООО «РСТ групп» (Республика Беларусь).

Твердый остаток в виде технического углерода может применяться в качестве исходного сырья для производства резиновых изделий (шин, конвейерных и транспортерных лент, шлангов, кабеля, приводных ремней, автомобильных ковриков, брызговиков, подкрылков, резиновых смесей и прочее).

После проведения дополнительной очистки технический углерод используется в резинотехнической и лакокрасочной промышленности. Пиролизный технический углерод нашел

применение в лакокрасочной промышленности в качестве пигмента черного цвета. Его используют для окрашивания силикатного кирпича, наливных полов, штукатурки и других строительных материалов.

Технический углерод также можно использовать для выделения из него оксида цинка (содержание от массы углерода составляет – 16,8%) с последующей переработкой его на металл или пигмент для получения цинковых белил. Часто технический углерод используют как замедлитель процесса старения пластмасс.

Переработка продуктов пиролиза шин, утративших свои потребительские свойства, посвящено много работ [3–8]. Например, Никитин Н.Н. и др. предложили добавлять пиролизный шлак в угольную шихту для коксования [4]. Для получения жидкого топлива Макитра Р.Г. и др. предлагают проводить совместный пиролиз изношенных покрышек в смеси с углем [7].

На прямую использование технического углерода в качестве сорбента, топлива, в электродной промышленности не представляется возможным, из-за его повышенной зольности и загрязненности соединениями серы.

Очистку твердого остатка от загрязняющих веществ можно проводить одним из известных способов:

- 1) прогрев угля при достаточно высокой температуре путем отжига при ограниченном доступе воздуха;
- 2) обработка соляной кислотой и последующая промывка проточной водой с целью растворения и удаления осевших в порах угля веществ;
- 3) обработка перегретым паром [9].

Дополнительная обработка и активация твердого остатка может увеличить удельную поверхность, а обессеривание позволяет получать восстановители металлов на основе углерода, которые необходимы для металлургической промышленности.

В работе Минхайдарова А.А. и соавторов показана возможность применения твердых остатков пиролиза изношенных шин в качестве сорбентов для адсорбции паров органических растворителей из воздушной среды, низкомолекулярных органических кислот из водных растворов и в качестве сорбентов разлитой на поверхности воды нефти.

В своей работе Панин А.В. и др. [10] предложили каталитическую гидродесульфуризацию твердых остатков пиролиза использованных шин. Задачей каталитической гидродесульфуризации являлось гидротирование и удаление серы.

Цель их работы заключалась в обогащении низкокачественного технического углерода методом масляной агломерации для получения концентрата с низким содержанием золы и соединений серы для получения композиционных видов топлива, такого как брикеты, гранулы, пеллеты, водоулеродное топливо и т.д. [10].

Метод масляной агломерации [10] для получения концентрата с низкой зольностью и серосодержанием заложен в основу многих исследований для получения композиционных видов топлива.

Например, в работе [11] полученный методом масляной агломерации концентрат смешивают с раствором реагента – жидкая фракция пиролиза в количестве 4,0-6,0 % к массе воды, затем проводят его гранулирование и наносят на поверхность гранул.

В работе [12] в качестве связующего вещества используется карбамид в соотношении 8-10 % к массе обогащаемого концентрата. Выбор карбамида в качестве связующего компонента обусловлен его доступностью и дешевизной. Расход связующего (карбамида) определяют потребностью для формирования прочного топливного брикета.

Технический углерод содержащий 92-99% чистого углерода, может поступать на облагораживание с получением углерод-углеродных материалов.

Углерод-углеродный материал представляет собой новый класс пористых композитных материалов, сочетающий в себе преимущества графита и активных углей. Данные композиционные материалы характеризуются высоким объемом мезопор и узким регулируемым распределением по размерам. Широкое применение углерод-углеродные материалы нашли в металлургии, при производстве высококачественной стали для прецизионного легирования металла.

В общем, из анализа литературы и патентов становится очевидным, что перспективы использования технического углерода, полученного в результате пиролиза резинотехнических изделий, существуют, работы по изучению вопросов, с этим связанных, ведутся во многих странах мира и это направление весьма актуально.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tang Dao-wen, Li Jun-qi, Chu Yong-hao, Wu Fu-zhong, Zhao Ping-yuan Исследование процесса пиролиза отходов полимеров и их утилизации Guizhou gongyeda xue xue bao. Ziran kexue ban // J. Guizhou Univ. Technol. Natur. Sci. Ed.- 2004. – V.33.- N 6.-P. 83-85, 102.
2. Cantegril M. Способ переработки и утилизации отходов. Procédé de traitement et de valorisation de déchets Заявка 2863920 Франция, МПК

7 В 09 В 3/00. Thales SA. N 0315019; Заявл. 19.12.2003; Опубл. 24.06.2005. Фр. FR. 150.

3. Исследование процесса бескислородного пиролиза изношенных автомобильных шин / Ю.А. Новичков, Т.В. Петренко, В.И. Братчун. – Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – 2005 г.

4. Никитин Н.И. Пиролизная утилизация автопокрышек / Н.И. Никитин, И.Н. Никитин // Кокс и химия. – 2008. – № 8. – С. 3–7.

5. Процесс и установка по переработке резиносодержащих отходов: пат. 2460743 РФ, МПК С 08 J 11 20, С 08 L 21 00, В 29 В 17 00 / К. З. Бочавер, Р. Ю. Шамгулов // заяв. 21.05.2010; опубл. 27.11.2011.

6. Яцун А.В. Жидкие продукты пиролиза отработанных автомобильных шин под воздействием СВЧ / А.В. Яцун, Н.П. Коновалов, И.С. Ефименко // Химия твердого топлива. – 2013. – № 4. – С. 60.

7. Макитра, Р.Г. Процессы переработки углей в смеси с резиносодержащими отходами в жидкое топливо / Р.Г. Макитра, Г.Г Мидяна, Д.В. Брык, М.В. Семенюк // Химия твердого топлива. – 2013. – № 3. – С. 43.

8. Пихль, О.А. Переработка автомобильных шин методами пиролиза и гидрогенизации / О.А. Пихль, Ю.Х. Сооне, Л.В. Кекишева, М.А. Каэв // Химия твердого топлива. – 2013. – № 3. – С. 51.

9. Очистка твердого остатка пиролиза автомобильных шин при помощи перегретого пара / В.В. Семендяев // Молодой ученый. – 2018. – № 23. – С. 226–227.

10. Пути утилизации отработанных автошин и анализ возможности использования технического углерода пиролиза отработанных автошин / А.В. Панин, А.Ю. Игнатова, Е.А. Макаревич. – 2015.

11. Способ переработки твердого остатка пиролиза автошин: пат. 2557652 С1 РФ, МПК С10L 5/04 / А.В. Панин, А.Ю. Игнатова, Е.А. Макаревич, А.В. Невердов. – № 21; заяв. 08.07.2014; опубл. 27.05.2015 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

12. Топливный брикет на основе углеродного остатка пиролиза автошин: пат. 2608733 С1 РФ, МПК С10L 5/04, С10L 5/00, С10L 5/12 / А.В. Панин, А.Ю. Игнатова, Е.А. Макаревич, А.В. Невердов. – № 3; заяв. 10.11.2015; опубл. 23.01.2017 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

УДК 661.179

Студ. А.А. Карниевич

Науч. рук. зав. кафедрой А.Э. Левданский

(кафедра процессов и аппаратов БГТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕФТЯНОГО КОКСА ОАО «НАФТАН» И ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЕГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

На нефтеперерабатывающих предприятиях постоянно образуются твердые отходы нефтепереработки. Одним из таких является нефтяной кокс. В зависимости от принятой технологии переработки нефти количество образующихся твердых отходов может варьироваться в широких пределах. В настоящее время на производстве ОАО «Нафтан» нефтяной кокс образуется в небольших количествах, около 10-20 тонн в год, и утилизируется путем захоронения. Однако, после завершения реконструкции предприятия с изменением технологии к концу 2019 года планируется до 1000 тонн в сутки. Такое количество нефтяного кокса утилизировать путем захоронения недопустимо.

Нефтяной кокс является твердым остатком вторичной переработки нефти или нефтепродуктов, получаемый при коксовании нефтяного сырья. Материал представляет собой гранулы неправильной формы черного цвета с металлическим блеском. Элементный состав сырого (не прокаленного) нефтяного кокса (в %): С: 91-99,5; Н: 0,035- 4; S: 0,5-8; (N+O): 1,3-3,8; остальное - металлы.

Проблема утилизации коксовой мелочи очень перспективна, но требует тщательной разработки технологии и подбора оборудования. В Беларуси рассматриваются два направления использования нефтяного кокса: в цементной промышленности и для выработки электроэнергии. На рисунке 1 представлены основные перспективные направления утилизации коксовой мелочи.

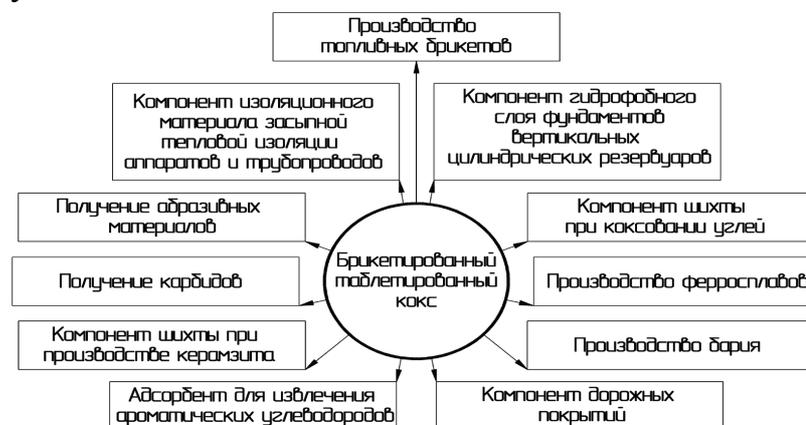


Рисунок 1 – Использование кокса



Таблица 1 – Химический состав образца

Элемент	C	O	Na	Al	Si	S	Cl	Ca	V	Fe	Cu	Zn
Содержание мас. %	57.5	2.6	3.1	0.5	0.5	10.9	2.3	0.4	0.9	15.2	2.9	3.2

Материал подвергался измельчению на щековой дробилке, а затем на мельнице, ударного типа. После измельчения проводился ситовой анализ и изучение гранулометрического состава. Классификация производилось по массе частиц определенного размера по отношению к общей массе материала.

Графическая зависимость распределения частиц от скорости вращения ротора, представлена на рисунке 3.

Согласно проведенным исследованиям, было выявлено, что увеличение частоты вращения ротора мельницы, ведет к увеличению количества фракции размера 0,25 мм. Также было установлено, что увеличение скорости загрузки материала негативно влияет на гранулометрический состав, увеличивая количество более крупной фракции.

По результатам исследований получена графическая зависимость гранулометрического состава измельченного нефтяного кокса в зависимости от технологических параметров мельницы (рисунок 3).

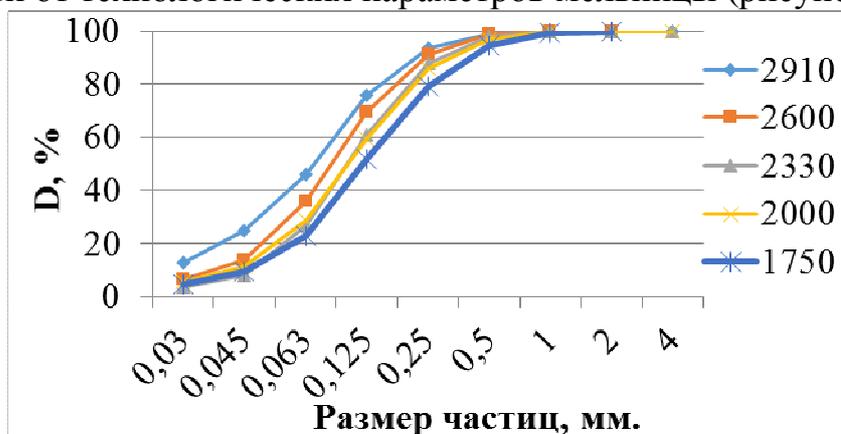


Рисунок 3 – Графическая зависимость распределения частиц от скорости вращения ротора

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гимаев Р.Н., Кузеев И.Р., Абызгильдин Ю.М. Нефтяной кокс. М.: Химия, 1992. 80 с.

2. Гусейнова А.Р., Салимова Н.А., Гусейнова Л.В. Разработка технологии получения топливных брикетов с применением коксовой мелочи // Литье и металлургия. 2012. № 3(67). 325–327 с.

3. Мановян А.К. Технология переработки природных энергоносителей. М.: Химия, Колос С, 2009. 456 с.

УДК 504.064.47:628.386

Студ. А.А. Ковалева

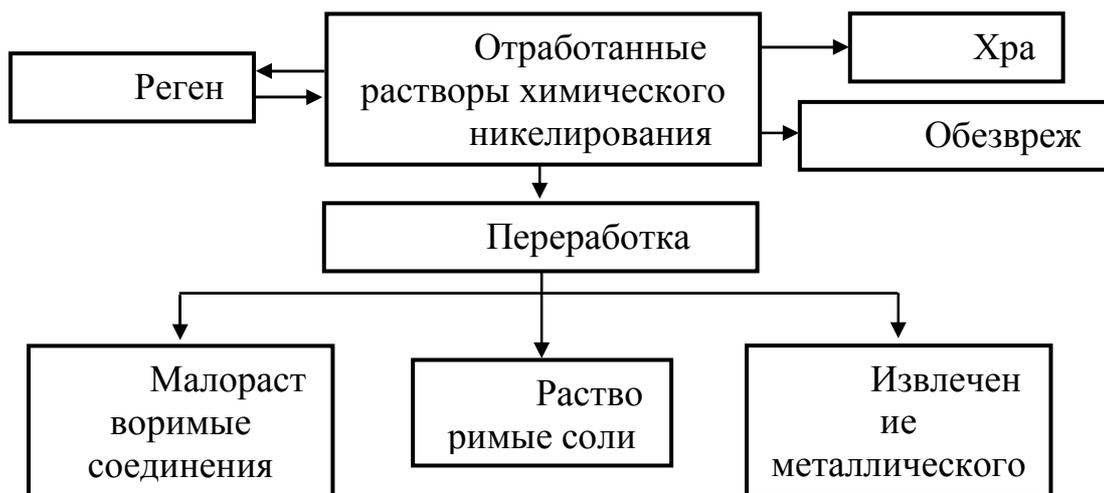
Науч. рук. доц. О.С. Залыгина, м.н.с. В.И. Чепрасова  
(кафедра промышленной экологии, БГТУ)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ОСАЖДЕНИЯ ИОНОВ $Ni^{2+}$ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ХИМИЧЕСКОГО НИКЕЛИРОВАНИЯ

Основными отходами химического никелирования являются отработанные электролиты. Большинство предприятий считает, что отработанный электролит никелирования – это сточные воды с высокой концентрацией загрязняющих веществ и сбрасывают их совместно со сточными водами на очистные сооружения. Однако, согласно Классификатору отходов, образующихся в Республике Беларусь, отработанные растворы электролитов относятся к жидким отходам. Сброс электролитов на очистные сооружения со сточными водами рассматривается как процесс их обезвреживания. В Республике Беларусь обезвреживание отходов может осуществляться только на объектах по обезвреживанию отходов, которые подлежат обязательной государственной регистрации, в противном случае сброс отработанных электролитов со сточными водами считается нарушением законодательства.

Отработанные электролиты никелирования характеризуются высоким содержанием ионов  $Ni^{2+}$ , в связи с чем их можно рассматривать как вторичный материальный ресурс.

Направления обращения с отработанными растворами химического никелирования [1-4] представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Направления обращения с отработанными электролитами химического никелирования**

Высокая концентрация ионов  $\text{Ni}^{2+}$ , обладающих хромофорными свойствами, в отработанных электролитах дает возможность проводить исследования по получению окрашенных соединений, в частности пигментов.

В настоящее время известен ряд никельсодержащих пигментов, широко используемых в лакокрасочной, стекольной и керамической промышленности. Наиболее распространенными из них являются оксид, гидроксид и фосфат никеля.

В зависимости от способа получения и состояния оксида никеля цвет кристаллов может изменяться от светло- до темно-зеленого и далее до черного цвета. Для  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  характерен светло-зеленый цвет. Кристаллогидраты и растворы, содержащие никель, имеют зеленоватый цвет, а безводные соли характеризуются желтым или коричнево-желтым цветом. Безводный фосфат никеля  $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$  характеризуется желтым цветом, кристаллогидраты  $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  – зеленым.

Исходя из вышеизложенного, цель исследования заключалась в определении условий осаждения ионов никеля из отработанных электролитов химического никелирования с получением пигментов, что позволит превратить отходы во вторичные материальные ресурсы и далее во вторичное сырье. Получение пигментов из отходов позволит снизить воздействие химического никелирования на окружающую среду, а также частично решить проблему импортозамещения пигментов, которые в настоящее время в Республике Беларусь не производятся.

Для решения поставленной цели проводилось извлечение ионов  $\text{Ni}^{2+}$  в виде малорастворимых соединений, которые в последующем можно использовать в качестве пигментов. Объектом исследования являлись отработанные электролиты химического никелирования следующего состава:  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 22,5 г/л;  $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  – 22,5 г/л; глицин – 20 г/л;  $\text{CH}_3\text{COONa}$  – 10 г/л. В качестве осадителей были выбраны  $\text{NaOH}$  и  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , так как гидроксид и фосфат никеля характеризуются наиболее низкими значениями произведения растворимости среди других соединений никеля [5], что позволит обеспечить наиболее полное извлечение  $\text{Ni}^{2+}$  из отработанных растворов химического никелирования.

При добавлении  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  не наблюдалось выпадение осадка из-за присутствия специфических стабилизирующих добавок в электролите.

Известно, что на процесс осаждения ионов  $\text{Ni}^{2+}$  гидроксидом натрия влияет рН раствора, порядок смешения исходных

компонентов, скорость дозирования осадителя, интенсивность перемешивания [1]. Для выбора оптимального значения рН и расхода осадителя, при котором будет наблюдаться полное осаждение ионов никеля, было проведено потенциметрическое титрование, результаты которого представлены на рисунках 2 и 3.

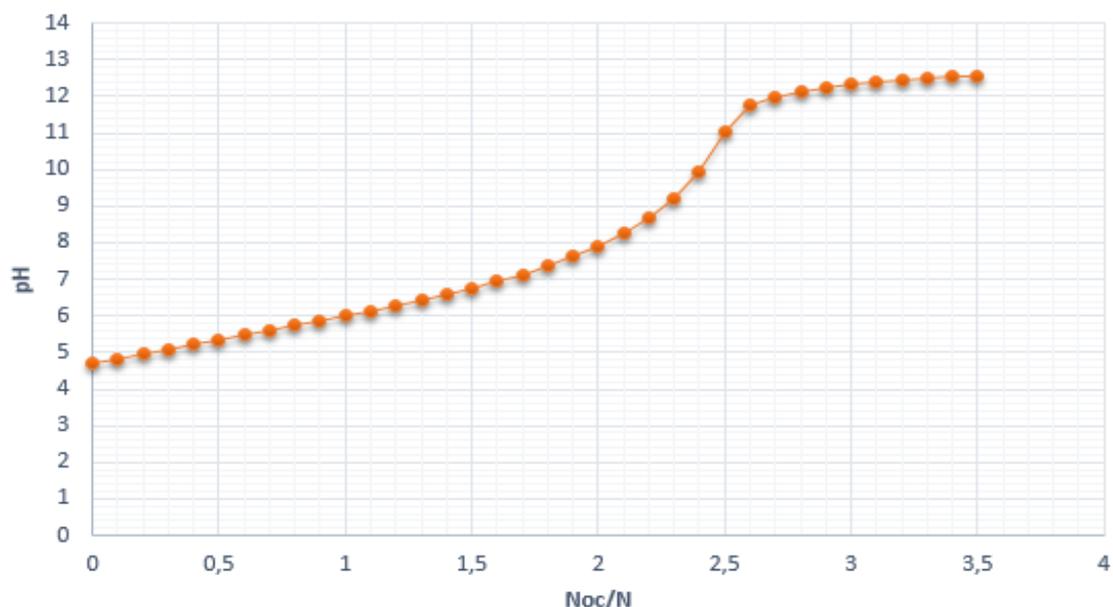


Рисунок 2 – Интегральная кривая потенциметрического титрования ионов никеля в ОЭХМ гидроксидом натрия

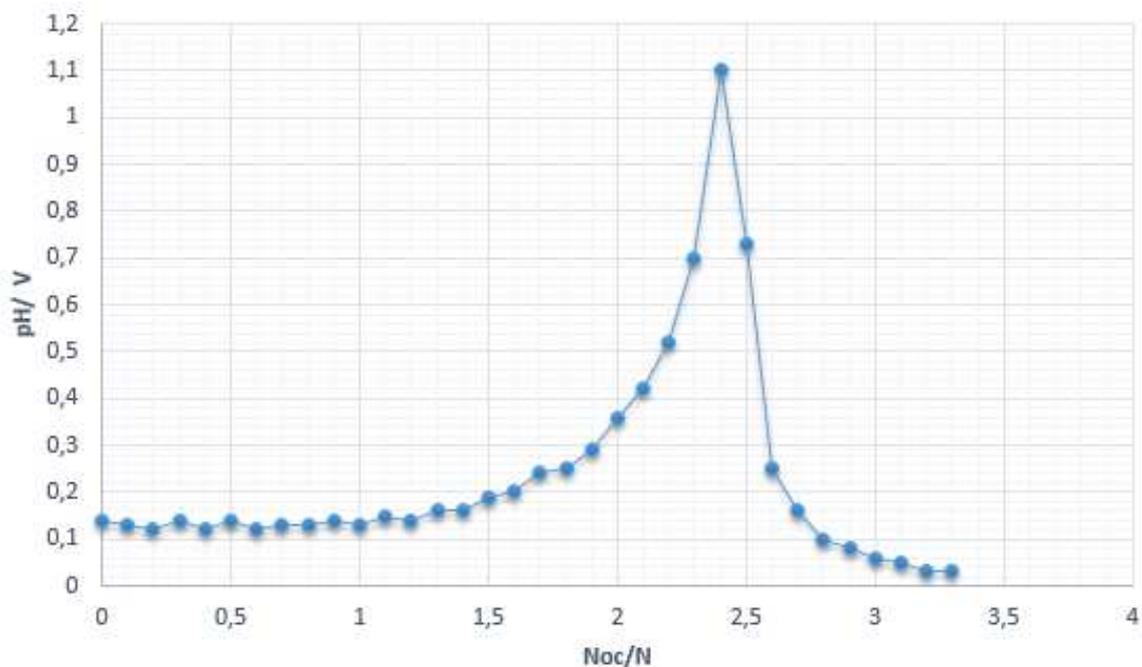


Рисунок 3 – Дифференциальная кривая потенциметрического титрования ионов никеля в ОЭХМ гидроксидом натрия

На основании полученных данных видно, что полное осаждение ионов никеля достигается при  $\text{pH} > 10$ , при соотношении  $\text{OH}^- : \text{Ni}^{2+} = 2,4 : 1$ . Осаждение проводили при комнатной температуре и постоянном перемешивании, время старения осадка 30 минут. Полученный осадок отделяли от раствора фильтрованием, отмывали дистиллированной водой от водорастворимых солей и сушили в сушильном шкафу при температуре  $90^\circ\text{C}$ . Высушенный осадок имеет ярко-зеленый цвет.

Остаточная концентрация  $\text{Ni}^{2+}$ , определяемая прямым титрованием раствором ЭДТА в присутствии мурексида, была ниже предела обнаружения, т.е. меньше 0,03 мг/л. Это свидетельствует о высокой степени извлечения  $\text{Ni}^{2+}$  из отработанного электролита химического никелирования (более 99%).

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности получения пигментов из отработанных электролитов химического никелирования. Поскольку в настоящее время в Республике Беларусь производство пигментов отсутствует, это позволит сократить их импорт. Переработка отходов также позволит снизить отрицательное воздействие химического никелирования на окружающую среду и здоровье человека, так как ионы  $\text{Ni}^{2+}$  оказывают токсическое, канцерогенное, мутагенное и тератогенное действие.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чепрасова, В.И. Отработанные электролиты никелирования как вторичный сырьевой ресурс / В.И. Чепрасова, О.С. Залыгина // Природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 126-133.
2. Кругликов, С.С. Утилизация отработанных растворов химического никелирования электрохимическим методом / С.С. Кругликов, К.В. Казакова, А.М. Плешивцева // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2008. – №3. – С. 35-40.
3. Лобанова, Л.Л. Технология утилизации никеля из отработанных растворов химического никелирования и ванн улавливания: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.17.03 / Л.Л. Лобанова. Вятский гос. унив. – Киров, 2004.
4. Залыгина, О.С. Получение пигментов из отработанных электролитов никелирования / О.С. Залыгина, В.И. Чепрасова // Современные электрохимические технологии и оборудование : материалы международной научно-технической конференции, Минск, 28-30 ноября 2017 г. / БГТУ. – Минск : БГТУ, 2017. – С. 145-148.
5. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1979. – 480 с.

УДК 504.064.47:628.386

Студ. О.Ю. Кузьменкова  
Науч. рук. доц. О.С. Залыгина, асп. В.И. Чепрасова  
(кафедра промышленной экологии, БГТУ)

## **СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПИГМЕНТА ИЗ ОТРАБОТАННОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ЦИНКОВАНИЯ**

В настоящее время в Республике Беларусь уделяется особое внимание переработке отходов, однако, уровень их использования остается низким. Наибольшую трудность представляет переработка опасных отходов, имеющих сложный химический состав, в частности, отходов гальванического производства.

К основным отходам гальванического производства относятся осадок сточных вод и отработанные технологические растворы. В настоящее время существует достаточно много работ, посвященных переработке осадков сточных вод, гораздо 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.

Проведенные ранее нами исследования свидетельствуют о возможности использования отработанных электролитов хлоридно-аммонийного цинкования для получения белых пигментов. В предыдущих работах нами были предложены условия их получения [1]. Однако, для организации технологического процесса производства пигментов из отработанных электролитов гальванического производства необходимо составление материального баланса, что и явилось целью настоящей работы.

Материальный баланс составлялся для различных стадий технологического процесса:

- для стадии осаждения ионов цинка  $Zn(II)$  из отработанного электролита хлоридно-аммонийного цинкования насыщенным раствором фосфата натрия с последующим подкислением соляной кислотой;
- для стадии фильтрования для отделения полученного осадка от маточного раствора;
- для стадии промывки осадка, необходимой для удаления водорастворимых соединений, которая осуществлялась по противоточной схеме;
- для стадии фильтрации после промывки;

Наиболее важной является первая стадия осаждения  $Zn(II)$  из отработанного электролита цинкования, материальный баланс которой представлен в таблице.

Таблица – Материальный баланс стадии осаждения Zn (II) из отработанного хлоридно-аммонийного электролита цинкования

Приход	Кг	%	Расход	Кг	%
1. Отработанный электролит цинкования, в т.ч.:	1110	100	1. Суспензия, в т.ч.:	2180,50	100
– ZnCl <sub>2</sub>	68	6,13	– твердая фаза (ZnH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> +Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O+ примеси фосфата железа)	82	3,76
– NH <sub>4</sub> Cl	174,5	15,72	– жидкая фаза, в т.ч.:	2098,50	96,24
– вода с примесями (Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , СБЦ-1, СБЦ-2, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , и др.)	867,5	78,15	– Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	29,36	1,40
2. Раствор осадителя, в т.ч.:	1032	100	– NaCl	62,76	2,99
– Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	88,1	8,54	– NH <sub>4</sub> Cl	139,32	6,64
– вода	943,9	91,46	– ZnCl <sub>2</sub>	следы	–
3. Раствор соляной кислоты, в т.ч.	38,5	100	– вода с примесями (Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , СБЦ-1, СБЦ-2, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> и др.)	1867,06	88,97
– HCl	14,6	37,92			
– вода	23,9	62,08			
Итого	2180,5		Итого	2180,5	

Аналогичным образом были составлены материальные балансы для остальных стадий технологического процесса.

На основании общего материального баланса были рассчитаны расходные нормы сырья и материалов для получения 1 кг цинксодержащего пигмента из отработанного хлоридно-аммонийного электролита цинкования: 88,1 кг фосфата натрия (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), 32,4 дм<sup>3</sup> соляной кислоты (36% HCl) и 2,96 м<sup>3</sup> воды. Полученный пигмент белого цвета может найти применение в лакокрасочной, керамической, стекольной и других отраслях промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чепрасова, В. И. Отработанные электролиты цинкования как вторичное сырье для получения пигментов / В. И. Чепрасова, О. С. Залыгина // Журнал прикладной химии. – 2017. – Т. 90. – № 3. – С. 318–326.

УДК 676.08

Студ. В.О. Синькевич

Науч. рук. доц. Л.А. Шибека

(кафедра промышленной экологии, БГТУ)

## **ПРИМЕНЕНИЕ СКОПА В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

В процессе осуществления экономической деятельности ежегодно образуется значительное количество отходов, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Согласно данным статистической отчетности [1] в 2017 году образовалось 55,506 млн. т отходов производства, при этом на долю отходов предприятий, относящиеся к подсекции «Производство изделий из дерева и бумаги; полиграфическая деятельность и тиражирование записанных носителей информации» пришлось 1244,1 тыс. т. Одним из многотоннажных отходов, образующихся на предприятиях по изготовлению бумаги и картона, является осадок очистных сооружений (скоп), содержащий короткие целлюлозные волокна и минеральные примеси.

В соответствии с классификатором отходов [2] скоп относится группе VII «Отходы целлюлозы, бумаги, картона» и имеет 4 класс опасности. Ежегодное образование влажного скопа в Республике Беларусь может превышать 90 000 т [3]. Из-за высокой влажности и зольности скоп в настоящее время практически не используется и подлежит захоронению на полигонах или хранению на территории предприятий.

Цель работы – оценка эффективности использования скопа в процессах очистки сточных вод от красителей.

В исследованиях использовали скоп, образцы которого были отобраны на полигоне по хранению отходов одного из предприятий Республики Беларусь, осуществляющего выпуск картонно-бумажной продукции. Содержание скопа в пробе составляло 2, 4, 6 и 8 г/дм<sup>3</sup>. В работе применяли скоп, высушенный при 140 °С и 175 °С, и измельченный до размера частиц менее 1 мм.

Исследования проводили на модельных сточных водах. В качестве красителей использовали беменикс серый С-VL (кислотный краситель) и метиленовый голубой (основной краситель). Концентрация красителя в растворе составляла 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Оценку эффективности применения скопа в процессах очистки сточных вод от красителей осуществляли на основании изменения оптической плотности раствора до и после (с предварительным отделением твердой и жидкой фазы) взаимодействия с образцами

скопа в течение 2 часов. Полученные результаты представлены в таблице.

**Таблица – Эффективность очистки сточных вод от красителей**

Содержание скопа, г/дм <sup>3</sup>	Степень очистки воды от красителей (%) при использовании скопа, подверженного температурной обработке	
	при 140 °С	при 175 °С
краситель – беменикс серый С-ВL		
2	92,3	59,0
4	56,4	66,7
6	66,7	69,2
8	66,7	69,2
краситель – метиленовый голубой		
2	71,7	66,4
4	65,8	63,0
6	72,1	71,2
8	69,7	67,8

Результаты исследований свидетельствуют о том, что с увеличением содержания скопа в воде не происходит возрастание эффективности очистки сточных вод, что, вероятно, обусловлено увеличением мутности раствора за счет загрязнения раствора мелкодисперсными частицами скопа. Показано, что увеличение температуры обработки образцов скопа не способствует росту степени очистки сточных вод от красителей. Установлено, что очистка сточных вод от кислотного красителя (беменикс серый С-ВL) более эффективна (максимальная степень очистки составляет 92,3%), чем от основного красителя (метиленовый голубой), максимальная степень очистки которого достигает порядка 72%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2018. – 227 с.
2. Об утверждении классификатора отходов, образующихся в Республике Беларусь: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь №85 от 08.11.2007 г. (в ред. постановлений Минприроды от 30.06.2009 г. №48, от 31.12.2010 г. №63, от 07.03.2012 г. №8) – 94 с.
3. Плышевский, С.В., Ковш, А.Л., Мельникова, Р.Я., Салита, А.В. Отходы скопа: состав, свойства и пути утилизации // Экология на предприятии. – № 4 (58). – 2016 г. – С. 35-47.

УДК 628.312

Студ. А.А. Синкевич

Науч. рук. асс. Е.Г. Сапон

(кафедра промышленной экологии, БГТУ)

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФОСФОРА И АЗОТА В ВИДЕ МАГНИЙ АММОНИЙ ФОСФАТА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИЙ**

Повышенное содержание соединений азота и фосфора в сточной воде является основной причиной антропогенной эвтрофикации водных объектов. К её отрицательным последствиям относят снижение прозрачности воды, критическое снижение концентрации растворенного кислорода, обеднение видового состава, накопление органических донных отложений и др. Вместе с тем серьезной проблемой является истощение разведанных запасов фосфорсодержащего сырья. По результатам моделирования к 2030 году будет достигнуто максимальное значение его мировой добычи, после которого в соответствии с концепцией исчерпания природных ресурсов будет наблюдаться спад добычи [1]. В связи с вышеизложенным извлечение соединений азота и фосфора из потоков очистных сооружений с целью их последующего использования является актуальной задачей.

На сегодняшний день известно большое количество технологий извлечения азота и фосфора. Одним из самых перспективных методов совместного извлечения фосфора и азота считается осаждение их в составе магний аммоний фосфата (струвита) по реакции:



Струвит – представляет собой кристаллическое вещество, содержащее магний, аммоний и фосфор в эквимолярных количествах (1:1:1). Он может быть использован в качестве комплексного удобрения пролонгированного действия из-за низкой скорости растворения биогенов и незначительного содержания тяжелых металлов, что выгодно отличает его от удобрений, полученных из фосфатных руд. Исследования по получению струвита из сточных вод и его применению в качестве удобрения ведутся во многих странах мира.

Кристаллизация комплексной соли магний аммоний фосфатанабначается после достижения насыщения раствора по его компонентам, что достигается либо повышением концентрации реагентов, либо увеличением рН до 9,0–9,5. Самопроизвольное её осаждение может происходить при анаэробном сбразивании осадков сточных вод, которое сопровождается ростом значения рН и концентрации ионов магния, азота аммонийного и фосфатов. Протекание процесса в таких условиях представляет собой техническую

проблему, обусловленную тем, что происходит необратимая кольматация очистного и насосного оборудования и трубопроводов.

Известно более 18 технологий, в основе которых лежит указанная выше реакция образования магний аммоний фосфата. Все они находятся на различных стадиях реализации, начиная от лабораторных исследований до полномасштабных промышленных установок. Общим для них является то, что обработке подвергается суспензия избыточного активного ила или иловая вода. Больше половины из них осуществляются без предварительной обработки избыточного активного ила, остальная часть включает стадию предварительного гидролиза с целью повысить концентрацию фосфатов в жидкой фазе [2]. Далее рассмотрим два подхода к извлечению азота и фосфора на примере технологии AirPrex и WASSTRIP+Pearl, относящихся к первому и второму классу соответственно.

Американская технология AirPrex (разработчик – корпорация TechnologyWaterandBiosolids) предназначена для извлечения азота и фосфора из суспензии сброженного осадка. Она включает перекачку суспензии в реактор особой конструкции, где она подвергается аэрации воздухом, для перемешивания и концентрирования сухого вещества и отделения диоксида углерода, что позволяет увеличить pH и обеспечивает переход фосфатов в жидкую фазу. В отличие от других аналогичных технологий в данном случае для осаждения струвита в реактор дозируется исключительно хлорид магния и нет необходимости использовать дорогостоящую щелочь. Образовавшийся осадок магний аммоний фосфата после промывки может быть использован в качестве удобрения. Таким образом, из жидкой фазы может быть извлечено до 90% фосфора фосфатного и до 40% азота аммонийного. Обработанная суспензия выводится из реактора для последующего обезвоживания. Кроме того, такая организации процесса помимо извлечения биогенных элементов позволят улучшить водоотдающие свойства осадка и снизить расход флокулянтов для обезвоживания иловой суспензии на 30%. С 2009 года в мире эксплуатируется 10 полноразмерных установок по технологии AirPrex, наиболее крупные в Амстердаме, Денвере и Берлине.

Для решения проблемы самопроизвольного осаждения струвита при анаэробном сбраживании и повышения его выхода на последующей стадии извлечения используют другой подход. Он направлен на создание условий для перехода в жидкую фазу иловой суспензии азота аммонийного, фосфатов и ионов магния непосредственно перед её анаэробным сбраживанием и реализован в канадской технологии WASSTRIP (Разработчик – корпорация Ostara). Суть про-

цесса заключается в том, что избыточный активный ил подвергается анаэробной обработке с добавлением летучих жирных кислот в реакторе с быстроходными мешалками. Это приводит к тому, что жидкая фаза, обогащенная фосфатами, аммонием и магнием, отделяется в илоуплотнителе и направляется в реактор взвешенного слоя для извлечения биогенов. В реакторе происходит кристаллизация струвита по технологии Pearl в результате дозирования в поток хлорида магния и гидроксида натрия. Технология WASSTRIP позволяет сократить массу сухого вещества сброженного осадка сточных вод до 25%, что приведет к снижению расходов на его обработку и использование. Кроме этого, комбинация технологий WASSTRIP+Pearl имеет следующие преимущества: улучшаются водоотдающие свойства иловых суспензий; из иловой воды извлекается до 70% фосфатов и до 40% азота аммонийного; уменьшается образование струвита в метантенках до 90%. Данная технология реализована на очистных сооружениях в США, Голландии и Испании [3].

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- 1) Извлечение азота и фосфора из потоков очистных сооружений канализации является актуальным направлением в области очистки сточных вод.
- 2) Перспективным является создание условий, обеспечивающих максимальный переход ионов аммония и фосфатов в жидкую фазу иловых суспензий.
- 3) Применение технологий извлечения биогенных элементов позволят не только получать ценный продукт, но и улучшать водоотдающие свойства осадков сточных вод.
- 4) Использование рассмотренных технологий позволяет снизить общую нагрузку на очистные сооружения по азоту и фосфору до 10 и 40% соответственно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Cordell D., White S. Peak phosphorus: clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security // Sustainability. – 2011. – Vol. 3. – №. 10. – P. 2027–2049.
2. Jaffer Y. et al. Potential phosphorus recovery by struvite formation // Water Research. – 2002. – Vol. 36. – №. 7. – P. 1834–1842.
3. Le Corre K. S. et al. Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: A review // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2009. – Vol. 39. – №. 6. – P. 433–477.

УДК 666.974

Студ. Я.А. Бобровская

Науч. рук. ст. преп. Н.М. Шалухо

(кафедра химической технологии вяжущих материалов, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СЕРЫ И РАЗЛИЧНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ**

В последнее время значительно выросло количество исследований, направленных на использование серы в качестве вяжущего для изготовления серного бетона с дальнейшей его переработкой в готовые изделия. Использовать серный бетон можно путем нанесения его на поверхность изделий для защиты их от вредного воздействия агрессивных сред, путем пропитки и для изготовления изделий из серного бетона. Одним из перспективных направлений использования серы является получение серного бетона для его применения в изготовлении строительных конструкций и изделий, подверженных агрессивному воздействию кислот и солей. Свойства серного бетона определяются, прежде всего, его внутренней структурой. Гомогенная структура серы обеспечивает плотное расположение ее молекул относительно друг друга. Присутствие наполнителя приводит к тому, что молекулы серы «скрепляют» молекулы наполнителя и заполняют внутренние пространства получаемого вещества таким образом, что пористость становится почти нулевой.

Серный бетон – это композиционный материал, состоящий из инертных заполнителей и наполнителей, выполняющих функции структурного каркаса, и вяжущего – технической серы, при необходимости модифицированной различными добавками. Отличие технологий производств бетонов, связанных с применением цементов, от технологии производства серного бетона на использовании серного вяжущего, заключается в том, что при производстве серного бетона вместо цементов используется сера.

Составы серного бетона получали следующим образом. Приготавливали исходные шихты, состоящие из серы и наполнителей и нагревали их на песчаной бане при непрерывном перемешивании до температуры 140–150°C с целью получения однородной легкоподвижной массы за счет плавления серы. В качестве наполнителей использовали песок и гранитные отсева фракций 5 мм и менее, которыми варьировали в различных соотношениях. Полученной бетонной смесью заполняли формы, находящиеся на вибростоле, и в результате вибрации происходило ее уплотнение. После окончания формовки бетонная серосодержащая смесь

схватывалась в течение пяти минут за счет кристаллизации расплавленной серы, что обеспечивало набор прочности.

С целью оптимизации составов композиционного серосодержащего материала осуществляли варьирование составом смеси – сера + наполнители и оценивали основные физико-механические свойства полученных образцов, такие как водопоглощение и прочность на сжатие. Для оценки прочностных свойств образцов композиционного материала на основе серы изготавливали образцы-кубики 2×2×2 см. Прочность на сжатие оценивали в 1 и 7-ми сутках твердения на воздухе (таблица 1).

**Таблица 1 – Зависимость прочности образцов на сжатие от состава исходной смеси**

Компоненты	Состав смеси С : (П + Гр)	Состав смеси С : П : Гр	R, МПа (1 сут)	R, МПа (7 сут)
Сер (С) + песок (П) + гранитные отсе (Гр) крупностью 5 мм и менее	70:30	70:10:20	8,5	9,5
		70:20:10	9,5	10,2
	60:40	60:20:20	11,3	11,25
		60:30:10	26,3	26,5
		60:10:30	8,9	14,8
	50:50	<b>50:25:25</b>	<b>13,9</b>	<b>21,5</b>
		<b>50:40:10</b>	<b>11,4</b>	<b>25,2</b>
		<b>50:30:20</b>	<b>8,7</b>	<b>25,8</b>
		50:20:30	9,4	9,9
		50:10:40	7,85	13,1
	40:60	40:30:30	9,45	12,1
		40:50:10	6,4	12,1
		<b>40:40:20</b>	<b>8,7</b>	<b>20,8</b>
		<b>40:20:40</b>	<b>10,6</b>	<b>19,2</b>
		<b>40:10:50</b>	<b>5,8</b>	<b>22,7</b>

Как видно из полученных данных, наибольшими показателями прочности обладали образцы композиционного серосодержащего материала следующих составов (сера : песок : гранитные отсе): 50:25:25; 50:40:10; 50:30:20 для которых прочность на сжатие составила в 1 сут 8,7–13,9 МПа и в 7 сут 21,5–25,8 МПа. Достаточно высокие значения получены у образцов, приготовленных в соотношениях 40:40:20; 40:20:40 и 40:10:50, которые составили от 5,8 до 22,7 МПа в зависимости от времени твердения.

Водопоглощение (W, %) образцов оценивалось по потерям массы (M, г) в различные сутки твердения (таблица 2).

Таблица 2 – Зависимость водопоглощения образцов от состава исходной смеси

Компоненты	Состав смеси С : (П + Гр)	Состав смеси С : П : Гр	М1, г после распа- лубли	М2, г 1 сутки	М3, г 3 сутки	М4, г 7 сутки	W, %
Серя (С) + песок (П) + гранитные отсе- вы(Гр) крупностью 5 мм и менее	70:30	70:10:20	18,65	18,65	18,66	18,71	0,322
		70:20:10	14,64	14,64	14,67	14,72	0,546
	60:40	60:20:20	18,25	18,25	18,36	18,39	0,767
		60:30:10	17,87	17,87	17,89	18,09	1,23
		60:10:30	17,89	17,89	17,92	18,13	1,34
	50:50	50:25:25	17,08	17,08	17,09	17,10	0,117
		50:40:10	19,56	19,56	19,63	19,71	0,767
		50:30:20	18,60	18,60	18,65	18,78	0,968
		50:20:30	15,53	15,53	15,54	15,56	0,193
		50:10:40	17,39	17,39	17,41	17,43	0,23
	40:60	40:30:30	21,43	21,43	21,46	21,50	0,327
		40:50:10	18,77	18,77	18,79	18,82	0,266
		<b>40:40:20</b>	19,84	19,84	19,86	19,90	<b>0,302</b>
		<b>40:20:40</b>	20,29	20,29	20,30	20,33	<b>0,197</b>
		<b>40:10:50</b>	20,26	20,26	20,28	20,31	<b>0,247</b>

Из данных таблицы следует, что наименьшими потерями массы, т.е. наименьшим водопоглощением, характеризуются образцы следующих составов: сера : песок : гранитные отсе-вы: 40:40:20; 40:20:40; 40:10:50. Величина водопоглощения для данных образцов лежит в пределах 0,2–0,3%.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что композиционные материалы на основе серы обладают уникальным свойством быстрого набора прочности, причем даже на пылеватых песках, что для традиционных бетонов на портландцементном вяжущем невозможно. Кроме того, они характеризуются минимальными значениями водопоглощения, по сравнению с традиционными бетонами (4–5%).

Все это свидетельствует о перспективности разработки новых составов композиционных серосодержащих материалов, которые благодаря своим свойствам и более низкой стоимости в сравнении с цементными бетонами (за счет возможности утилизации серосодержащих отходов) могут быть успешно применены в изготовлении строительных конструкций и изделий, подверженных агрессивному воздействию кислот и солей, для изготовления тротуарных плит и др.

УДК 66.091:549.6:546.33

А.А. Авдейчик

Науч. рук. ст. преп. Н.М. Шалухо

(кафедра химической технологии  
вяжущих материалов, БГТУ)

## **НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ СИЛИКАТОВ НАТРИЯ**

Жидкие стекла (натриевые и калиевые) производятся в различных отраслях промышленности (химической, целлюлозно-бумажной, литейной и др.) и применяются для самых разнообразных целей: производство штучных огнеупорных материалов, жаростойких бетонов, для проклейки картона, для изготовления литейных форм, в составе сухих строительных смесей, флотореагентов, в синтетических моющих средствах, в составе буровых растворов и др.

Жидкие стекла или растворимые силикаты натрия обладают высокой когезионной прочностью, легки и безопасны, не подвергаются коррозии, не испаряют пожароопасных летучих компонентов и не ухудшают окружающую среду в процессе эксплуатации [1].

Достойной альтернативы жидким стеклам в указанных областях нет, и не предвидится.

Натриевые жидкие стекла выпускают обычно в пределах значений силикатного модуля 2,0–3,5 при плотности растворов 1,3–1,6 г/см<sup>3</sup> [2].

В последнее время применение жидких стекол в качестве связующего в производстве современных теплоизоляционных строительных материалов является весьма актуальным. Особый интерес представляет синтез низкомодульных жидких стекол, поскольку такие щелочные силикаты подвержены более полному гидролизу и диссоциации, по сравнению с высокомодульными, за счет чего большее количество натрия находится в активном состоянии и концентрация ионов  $\text{OH}^-$  увеличивается.

В настоящее время жидкие стекла получают в основном двумя способами. Первый способ заключается в предварительном получении силикат-глыбы путем плавления двухкомпонентных шихт при температурах 1350–1400°C в стекловаренных печах с последующим растворением силикат-глыбы во вращающихся автоклавах при температуре 120–130°C. Этот способ наиболее распространен, но и самый энергоемкий. Кроме того, за счет присутствия полуторных оксидов в кварцевом песке происходит образование в стекле нерастворимых кластеров, которые после автоклавирования отделяются и отправляются в отвал, что составляет примерно 5%.

Второй способ заключается в растворении кремнезема в каустической соде натриевой или калиевой, но он не распространен из-за высокой стоимости каустической соды и дефицитности аморфного кремнезема [3]. Поэтому актуальным является снижение энергозатрат на его производство, что можно осуществить за счет снижения температуры синтеза низкомодульных жидких стекол.

Целью исследования являлось получение низкомодульного жидкого стекла с силикатным модулем 1 при более низких энергозатратах, по сравнению с трехмодульным.

В предыдущих исследованиях разработан оптимальный состав жидкого стекла ( $\rho = 1,23 \text{ кг/м}^3$ ,  $n = 1$ ), который получен при  $T = 900^\circ\text{C}$ , выдержке в течении 60 мин при данной температуре и растворении спёка с непрерывным перемешиванием на водяной бане в течении 60 мин при  $V/T = 3:1$  [4].

Целью настоящего исследования явилось дальнейшее снижение температуры синтеза и времени выдержки стекольной шихты.

Для приготовления составов шихт использовали кварцевый песок (содержание  $\text{SiO}_2$  не менее 96%) и кальцинированную соду (квалификации «чда»). Гранулированную шихту подвергали обжигу в электрической печи при температуре  $880^\circ\text{C}$  со скоростью нагрева  $5^\circ\text{C/мин}$  и выдержке при максимальной температуре в течение 30 мин.

Полученные гранулы характеризовались достаточной сыпучестью и спекаемостью. Затем гранулы измельчали, просеивали через сито № 063 и подвергали растворению на водяной бане при  $T = 85^\circ\text{C}$  и непрерывном перемешивании в течение 30 мин при  $V/T = 3:1$ . В результате растворения осадка не образовывалось.

На следующем этапе осуществляли дальнейшее снижение температуры обжига сырьевой смеси до  $860^\circ\text{C}$  и временем выдержки при максимальной температуре 30 мин. По внешнему виду гранулы были достаточно спекшимися с хорошей сыпучестью. Продукты обжига измельчали и подвергали растворению аналогичным способом. Не растворившийся осадок также не образовывался.

Поскольку дальнейшее снижение температуры обжига сырьевой смеси не целесообразно ввиду возможного недостаточного образования силикатов натрия, на следующее этапе осуществляли обжиг при  $860^\circ\text{C}$ , но с меньшим временем выдержки при максимальной температуре – 20 и 10 мин.

Результаты растворения гранул показали, что в обоих случаях нерастворившегося осадка не образовалось. Однако гранулы, обжигаемые при  $860^\circ\text{C}$  и 10 мин выдержки отличались хрупкостью и недостаточной прочностью.

Для полученных образцов жидких стекол определяли силикатный модуль и плотность (таблица).

**Таблица – Свойства образцов жидких стекол**

Температура обжига, °С	Время выдержки, мин	Свойства жидких стекол	
		силикатный модуль	плотность, г/см <sup>3</sup>
860	30	1,052	1,31
	20	1,030	1,25
	10	1,028	1,19

Данные таблицы свидетельствуют о том, что полученные значения силикатного модуля соответствуют заданным (расчетным). Плотность полученных растворов жидких стекол также находится в необходимых пределах и при необходимости ее можно регулировать в зависимости от области применения составов.

Таким образом, подобраны технологические параметры для получения низкомолекулярного жидкого стекла. Технологический процесс производства низкомолекулярного жидкого стекла малоэнергоёмким синтезом предполагает следующие стадии: прием и складирование исходных материалов (кварцевый песок, сода); дозирование и смешение компонентов шихты; подача шихты в бункера-накопители; подача шихты на грануляцию; подача шихты в шахтную печь; растворение силикат-глыбы; отгрузка потребителю.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технология специальных цементов и композиционных материалов технического назначения : учеб. пособие / М.И. Кузьменков, Н.М. Шалухо. – Минск : БГТУ, 2014. – 258 с.
2. Корнеев, В.И. Растворимое и жидкое стекло / В.И. Корнеев, В.В. Данилов. – Санкт-Петербург: Стройиздат, СПб., 1996. – 216 с.
3. Способ получения низкомолекулярного жидкого стекла: пат. 1013404 Российской Федерации, С01В33/32 / С.А. Виденин, Н.Г. Дьяконов, П.А. Михалев, Л.П. Мирсанова; заявитель Виденин Н.Г.: заявл. 31.07.78; опубл. 23.04.83 // Изобретения. – 1983.
4. Блинова, Н.Н., Шалухо, Н.М., Сушкевич, А.В., Кузьменков, Д.М. Твердофазовый синтез силикатов натрия / 18 апреля 2018 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. – Ярославль : Издат. дом ЯГТУ, 2018. – С. 90–93.

УДК 630\*36:62-192

Лаборант В. И. Ахрамович

Науч. рук. зав. каф., канд. техн. наук В. С. Францкевич  
(кафедра МиАХиСП, БГТУ)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПО РАЗМОЛЬНОМУ СТОЛУ СРЕДНЕХОДНОЙ МЕЛЬНИЦЫ**

Исследование движения сыпучих сред по горизонтальным вращающимся поверхностям является актуальной задачей для различных технологических процессов в химической и смежных с ней отраслях промышленности. Аналитически рассчитать движение массы частиц очень сложно, так как невозможно предугадать их движение и соударения, которые будут влиять на траектории и скорость движения частиц. Одним из направлений решения поставленной задачи является компьютерное моделирование.

В процессе моделирования рассматривались размольные столы с диаметром 500 мм: плоский; с бортиком, с углами наклона  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  и  $45^\circ$ ; с желобом глубиной  $h = 19$  мм и радиусом  $r = 71$  мм,  $h = 22$  мм и  $r = 62$  мм,  $h = 26$  мм и  $r = 55$  мм,  $h = 32$  мм и  $r = 49$  мм; с углублениями 5 и 10 мм, и углом наклона  $45^\circ$ . Диска задавалась частота вращения 50, 75, 100, 125 и 150 об/мин. Рассматривались частицы кубической формы, размерами 3 мм, 5 мм и 10 мм, и пластинчатой формы с размерами  $1 \times 2 \times 3$  мм,  $2 \times 5 \times 8$  мм и  $5 \times 10 \times 15$  мм.

Из полученных данных, для частиц кубической формы размером 3 мм оптимальной формой стола является диск с желобом глубиной 32 мм и радиусом 49 мм, при частоте вращения размольного стола 100 об/мин (рисунок 1). Для частиц кубической формы размером до 5 мм, оптимальным является стола является диск с углублением 10 мм, при частоте вращения 75 об/мин (рисунок 2). Также для помола частиц кубической формы подходят столы в форме диска с небольшим наклоном бортика. Скорость частиц в момент слета с таких столов не велика, следовательно, частицы будут измельчаться, не пролетая перед валком. Для помола материала пластинчатой формы размером  $1 \times 2 \times 3$  мм, подходит стол в форме диска с бортиком с углом наклона  $45^\circ$  (рисунок 3).

Также для данного размера плоского материала подходит стол в форме диска с желобом глубиной 32 мм и радиусом 49 мм (рисунок 4).

Для частиц размером  $2 \times 5 \times 8$  мм подходит стол в форме диска с углублением 10 мм и углом  $45^\circ$  (рисунок 5).

Угол схода материала с размольного стола важен при проектировании устройств, закручивающих газовый поток, из условия

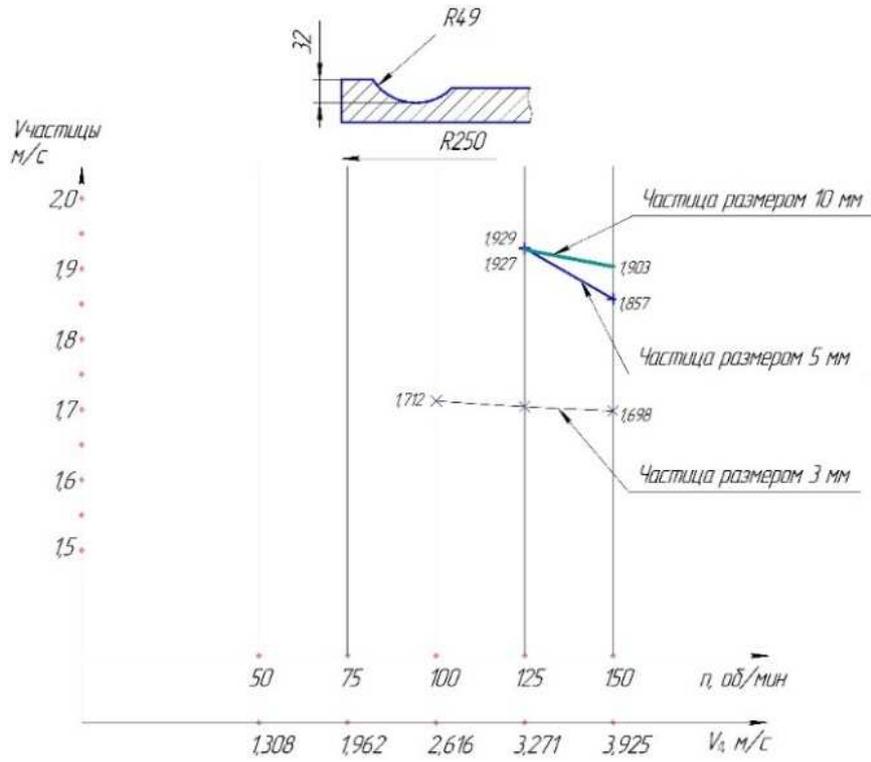


Рисунок 1 – Диск с желобом глубиной 32 мм и радиусом 49

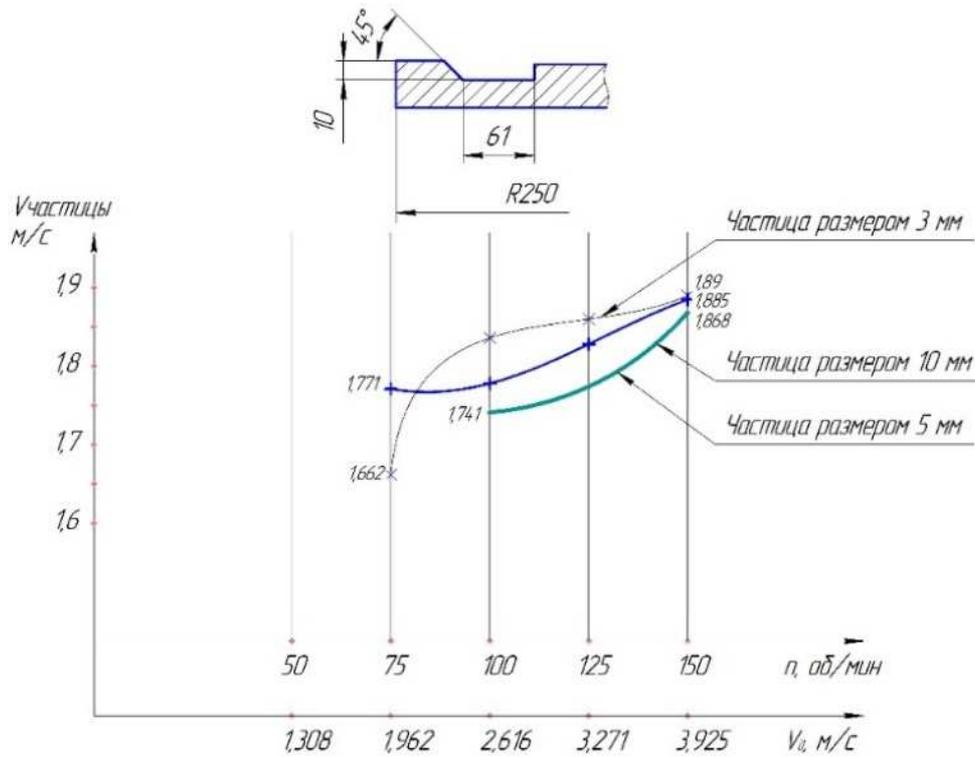


Рисунок 2 – Диск с углублением 10 мм

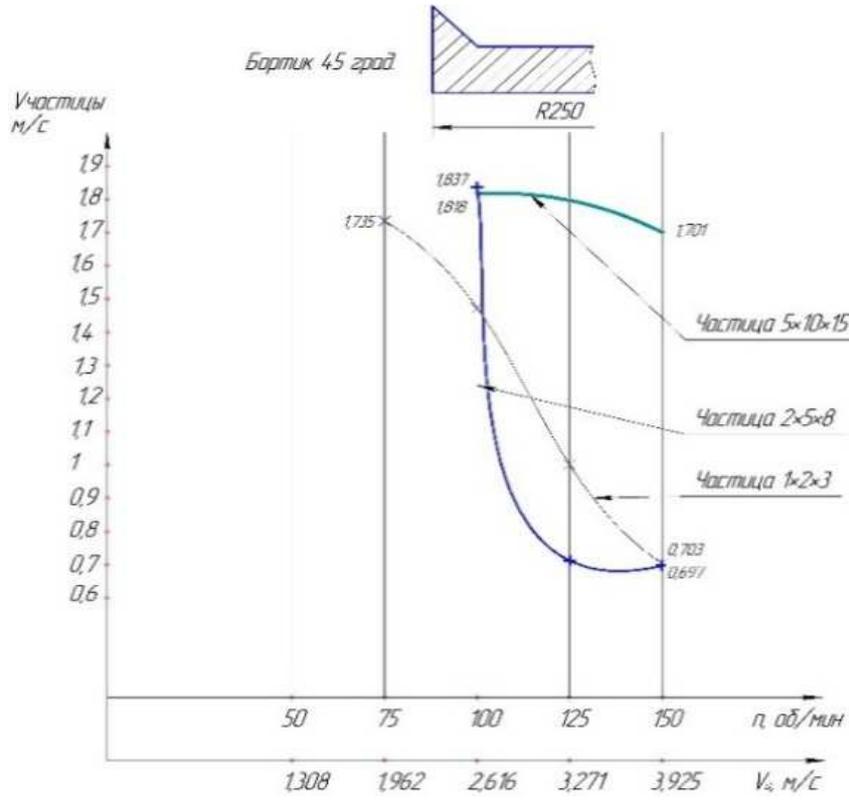


Рисунок 3 – Диск с бортиком 45 градусов

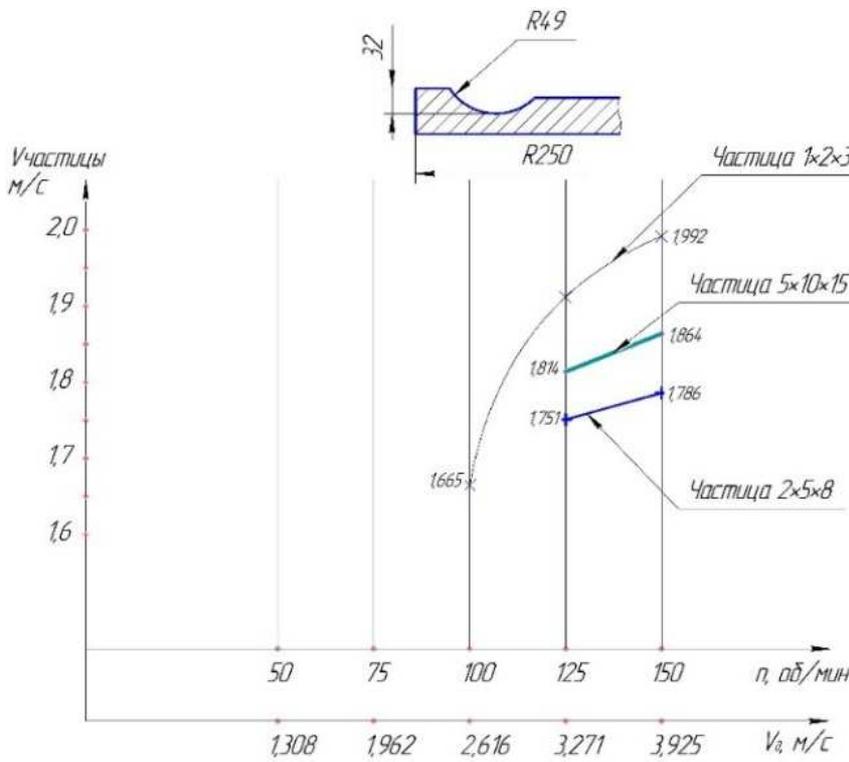


Рисунок 4 – Диск с желобом глубиной 32 и радиусом 49

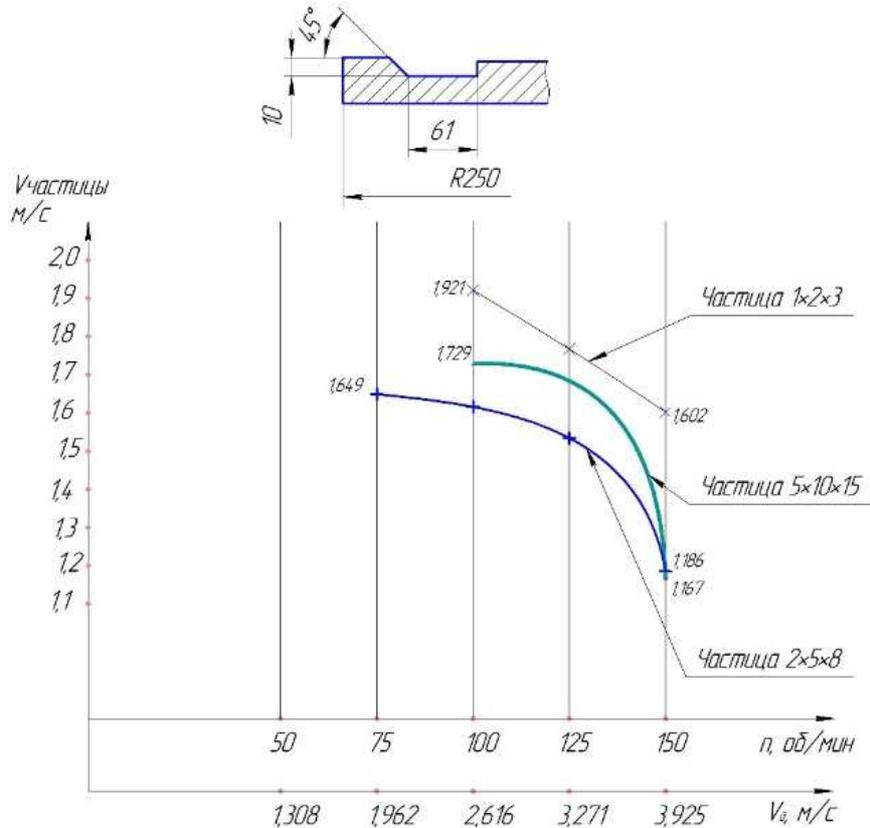


Рисунок 5 – Диск с углублением 10 мм

непопадания частиц на стенки мельницы и снижения их провала в нижнюю часть мельницы.

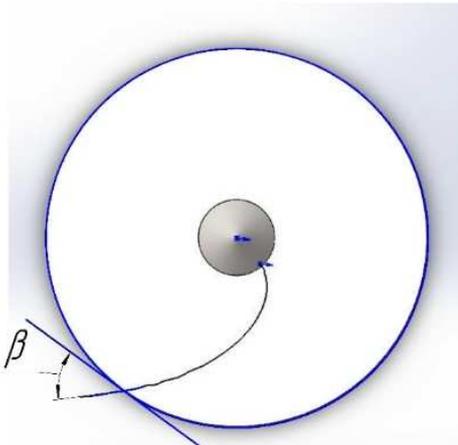
Для определения угла в момент отрыва частиц, воспользуемся формулой:

$$\cos \beta = \frac{v_{\varphi}}{v} \quad (1)$$

где  $v_{\varphi}$  – тангенциальная скорость частицы, м/с;

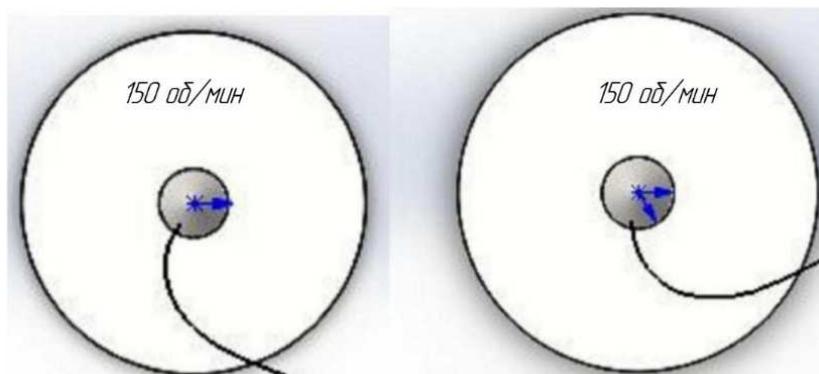
$v$  – полная скорость частицы, м/с.

По результатам компьютерного моделирования можно сделать следующие выводы. Данная модель подходит по всем параметрам для дальнейшего проектирования и подбора размольных столов для различных материалов с различной тониной помола. Для качественного помола материала необходимо конструировать размольный стол так, чтобы частицы требуемого размера беспрепятственно слетали с него, не задерживаясь на нём и не переизмельчаясь.



**Рисунок 6 – Угол в момент слета частицы с диска**

Также было произведено сравнение траектории движения частицы кубической формы и пластинчатой. Траектория движения плоской частицы более закручена, это связано с ее большей площадью контакта и, следовательно, большей силой трения, действующей на частицу.



**Рисунок 7 – Сравнение траектории движения частицы кубической и пластинчатой формы**

УДК 66.099.2

Студент Р. И. Ланкин

Науч. рук. зав. каф., канд. техн. наук В. С. Францкевич  
(кафедра МиАХиСП, БГТУ)

### **ГРАНУЛИРОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ**

Керамические гранулы могут быть использованы в качестве теплоизоляционной засыпки, работающей в условиях воздействия высоких температур и давления, а также в области нефте- и газодобычи при применении специальных способов. (например,

способ гидравлического разрыва пласта) в качестве расклинивающего агента.

Эксперименты по получению гранул (рисунок 1) из керамического порошка были проведены на лабораторном грануляторе барабанного типа с внутренним диаметром барабана  $d_{вн} = 226$  мм, и скоростью вращения барабана  $\omega = 40,7$  мин<sup>-1</sup>. В качестве связующего была использована вода.



**Рисунок 1 – Гранулы, полученные в ходе экспериментов**

Полученные данные занесены в таблицу 1. и построен графики зависимости массы гранул диапазонного размера от общей массы гранул (рисунок 2).

**Таблица 1 – Результаты экспериментальных данных**

Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
Масса гранул, г	150,7	135,6	30	17
Количество связующего, мл воды на 1 г порошка	0,166	0,324	0,500	1,176
Время гранулирования, мин	15	30	15	20

Было проведено моделирование движения (рисунок 3) и построен график скорости одной частицы (рисунок 4) в грануляторе барабанного типа при разных скоростях вращения барабана с использованием программы SolidWorks (внутренний диаметр барабана идентичен лабораторной установке, диаметр частицы  $d_{ч} = 2$  мм).

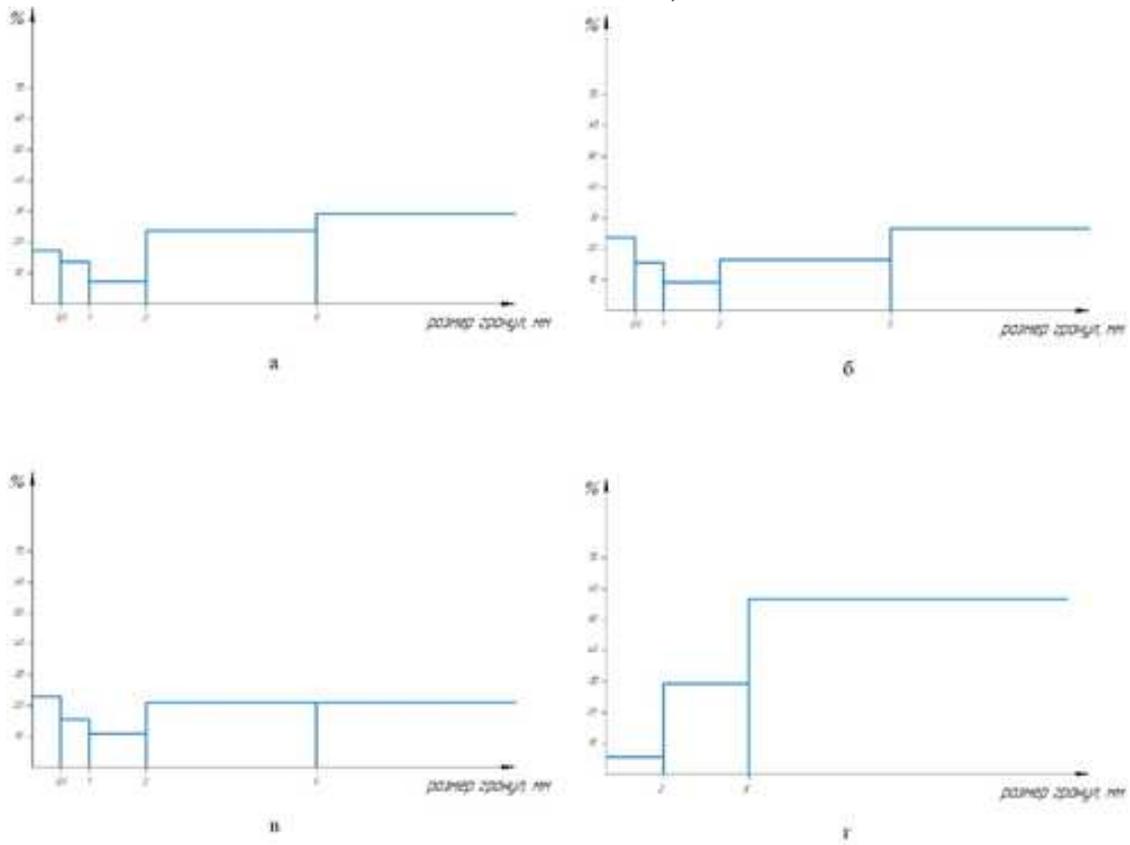


Рисунок 2 – Графики зависимости массы размера гранул от общей массы  
а – опыт 1, б – опыт 2, в – опыт 3, г – опыт 4

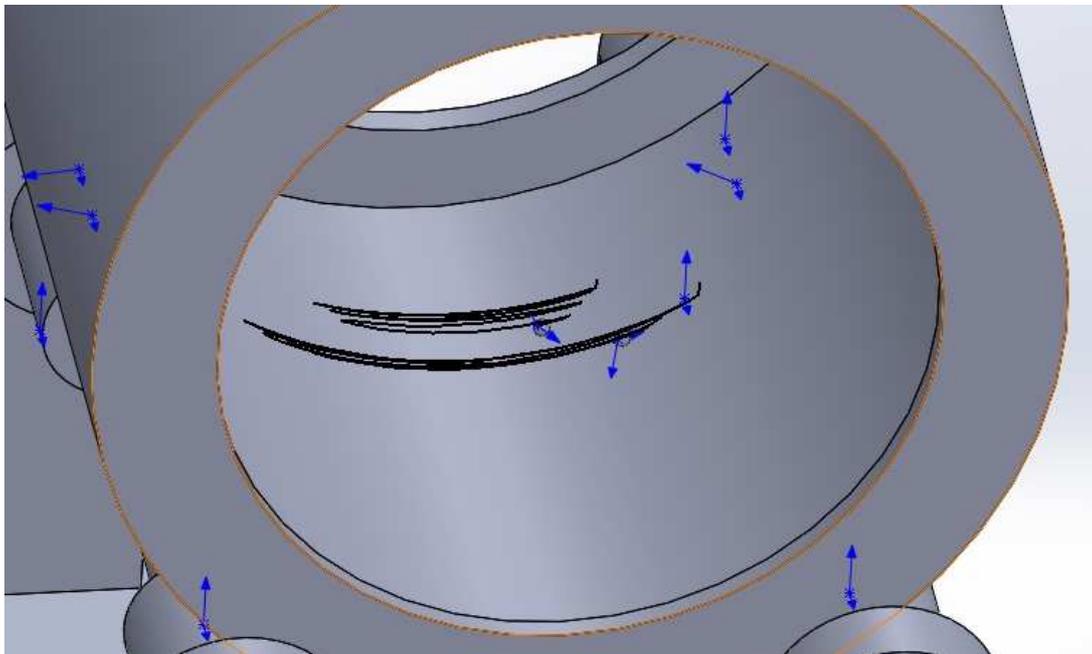
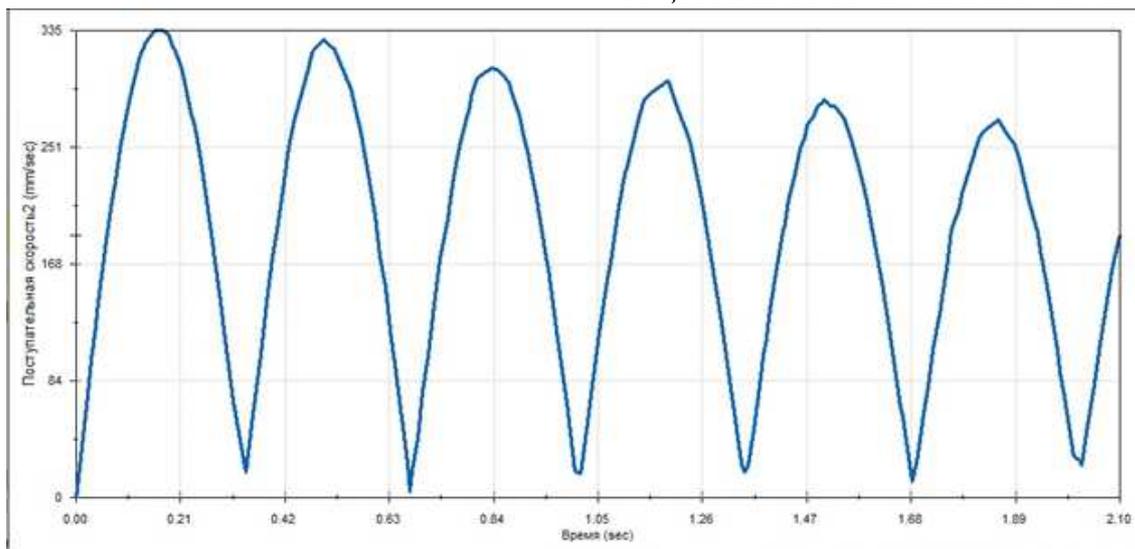
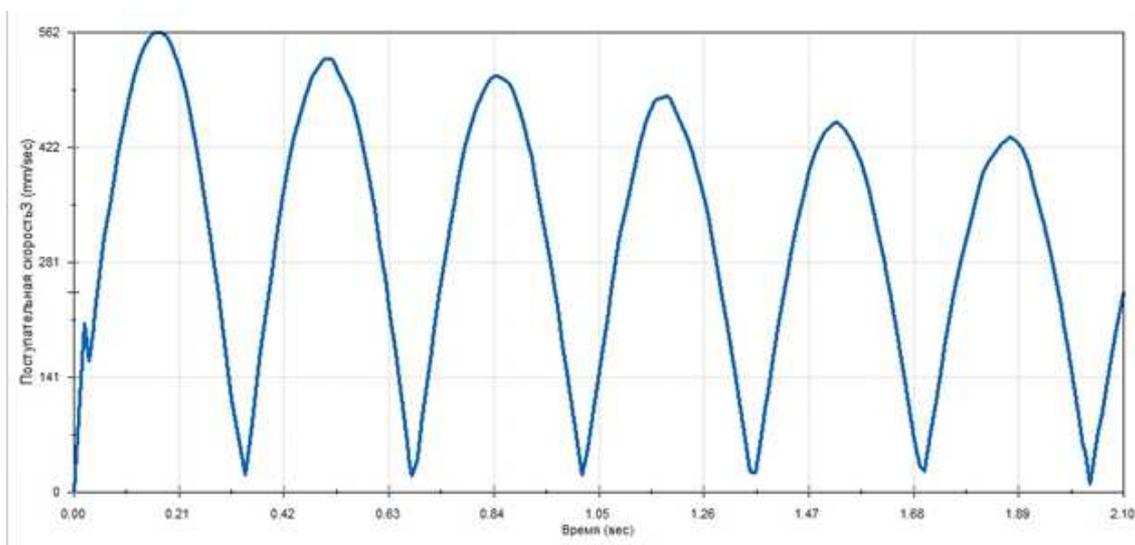


Рисунок 3 – Траектории движения частиц с частотами вращения  
 $\omega = 40 \text{ мин}^{-1}$  (верхняя),  $\omega = 50 \text{ мин}^{-1}$  (нижняя)



а



б

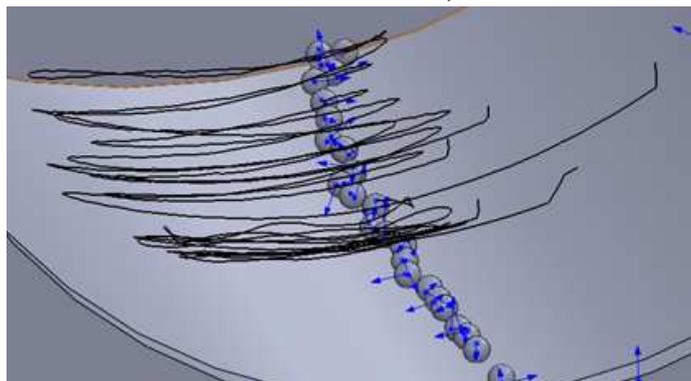
**Рисунок 4 – Графики зависимости скорости от времени  
а –  $\omega = 40 \text{ мин}^{-1}$ , б –  $\omega = 50 \text{ мин}^{-1}$**

Высота подъема и длина траектории были сведены в таблицу 2.

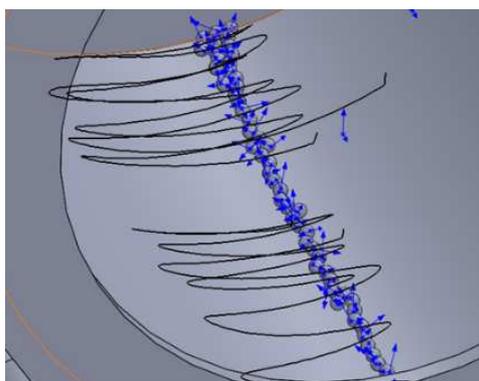
**Таблица 2**

Частота вращения $\omega$ , $\text{мин}^{-1}$	40	50	60
Высота подъема, мм	6	6,5	8,2
Длина траектории, мм	73,9	80,0	86,6

Были смоделированы траектории (рисунок 5) и графики скоростей (рисунок 6) 30 и 60 частиц при частоте вращения –  $\omega = 50 \text{ мин}^{-1}$ .

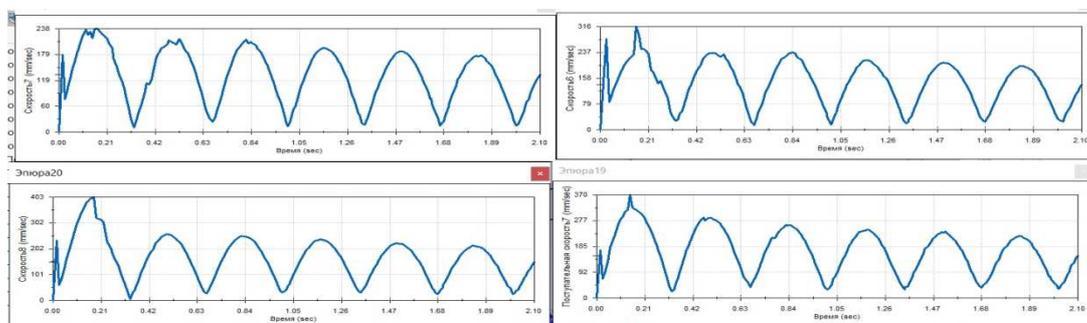


б

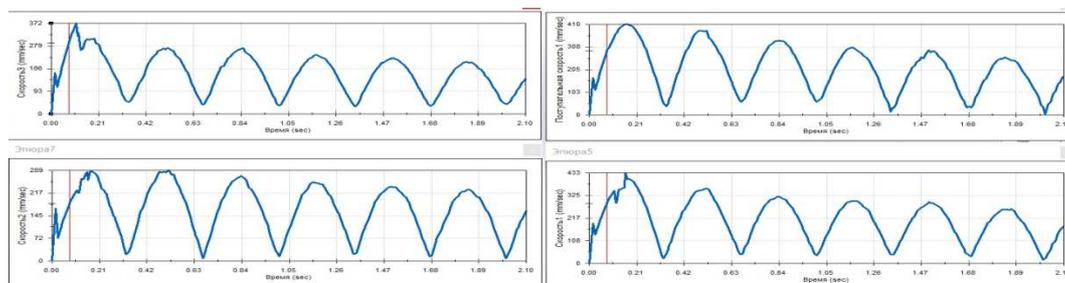


а

Рисунок 5 – Траектории движения некоторых частиц  
а –  $\omega = 40 \text{ мин}^{-1}$ , б –  $\omega = 50 \text{ мин}^{-1}$



а



б

Рисунок 6 – Графики зависимости скорости от времени некоторых частиц  
а –  $\omega = 40 \text{ мин}^{-1}$ , б –  $\omega = 50 \text{ мин}^{-1}$

УДК 66.02(075.4)/ 666.691(073)

Магистрант В.А. Жалевич  
Науч. рук. доц., к.т.н. О.А. Петров  
(кафедра МиАХиСП, БГТУ)

## ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ СУПЕРКАВИТАТОРОВ

Явление кавитации известно в науке и технике уже больше сотни лет. Кавитация – образование в жидкости полостей (каверн), заполненных газом, паром или их смесью.

Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация), существуют и другие причины возникновения данного эффекта. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырек захлопывается, излучая при этом энергию ударной волны. Необходимо подчеркнуть, что кавитация в основном образуется на кромке срыва при переходе ламинарного течения жидкости, или их смесей, в турбулентное течение.

Цель нашей работы: провести обзор и критический анализ современных конструкций суперкавитаторов, которые применяются в химической, нефтехимической, строительной, биологической, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности.

Простейшие струйные суперкавитаторы (рисунок 1) обычно представляют собой трубу переменного сечения, без движущихся частей, без двигателя и электроники.

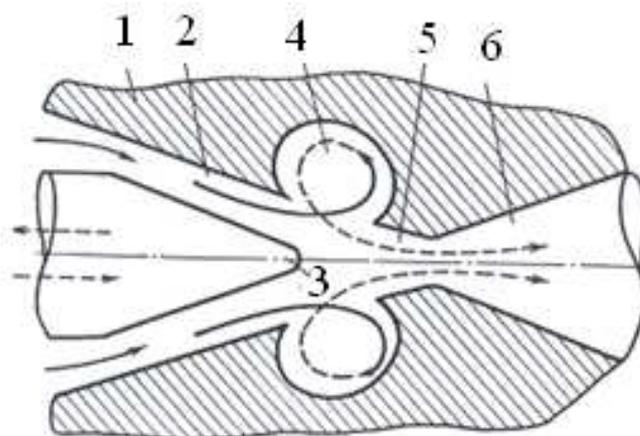


Рисунок 1 – Схема струйного кавитатора

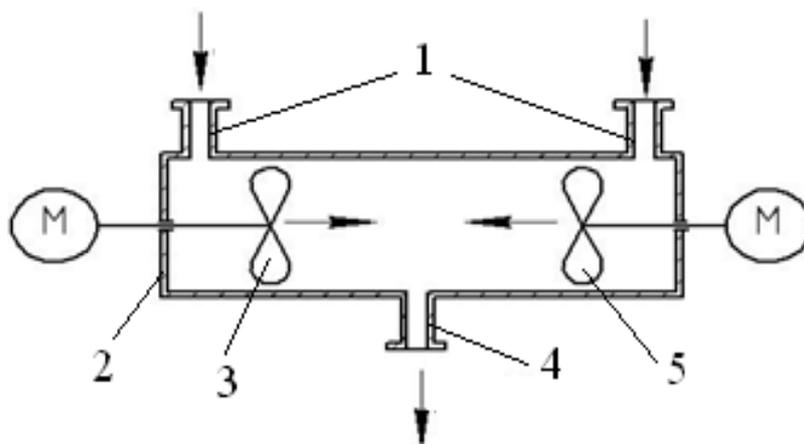
1 – корпус, 2 – канал, 3 – распределительный конус, 4 – завихритель,  
5 – конфузур, 6 – диффузор

Преимуществами таких аппаратов являются: отсутствие быстро

изнашиваемых деталей, сальников, узлов вращения; они не требуют обслуживания, не критичны к температуре и выдерживают большое давление жидкости (до 2 МПа) и высокую температуру (до 150°С и более); более дешевые в изготовлении.

К недостаткам можно отнести невозможность постоянного поддержания оптимального режима работы в зависимости от физико-химических параметров обрабатываемой жидкости. Кроме того, обычно требуется многократная обработка одного и того же объема жидкости для получения однородной и стабильной эмульсии.

Лопастные кавитаторы представляют собой трубу, в которой протекает жидкость. В жидкости вращается крыльчатка определенного профиля. Кавитация возникает за счет разрежения потока за лопастями. Кавитация здесь более интенсивна по сравнению со струйными кавитаторами за счет многократности возникновения каверн в единице объема. Пример такого кавитатора приведен на рисунке 2. Применяются в химической, нефтехимической промышленности.



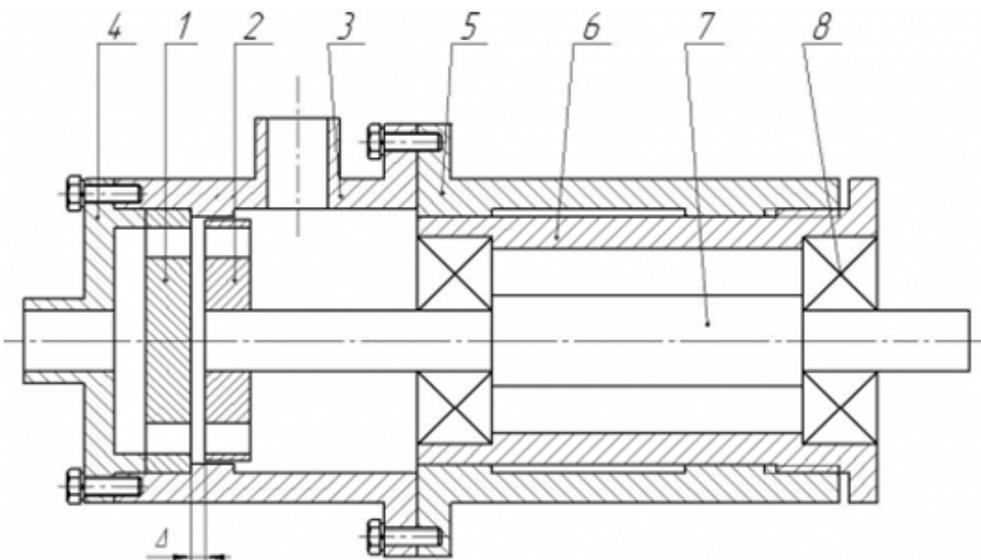
**Рисунок 2 – Схема лопастного кавитатора**  
1 – штуцеры для ввода жидкостей; 2 – рабочая камера; 3 – вращающиеся лопасти; 4 – штуцер для отвода продукта

К недостаткам подобных конструкций можно отнести следующее: практически невозможно добиться наиболее полного разрежения потока; кавитация возникает в ограниченном объеме жидкости; наличие подвижных рабочих органов, уплотнений.

Пульсирующие кавитаторы, так называемые, гидродинамические сирены чаще представляют собой корпус с установленными в нем входным и выходным патрубками. В корпусе установлены ротор и статор, с выполненными в них отверстиями. За счет того, что отверстия в статоре периодически перекрываются, про-

исходит прерывание потока жидкости. Причем количество и размер отверстий подбирают таким образом, что происходит обработка всего потока жидкости (рисунок 3).

К недостаткам таких кавитаторов можно также отнести: возможный абразивный износ рабочих поверхностей ротора и статора, из-за чего требуется периодическая их замена. Применяются в химической промышленности, водоочистке.



**Рисунок 3 – Схема пульсирующего кавитатора**

**1 – статор, 2 – ротор, 3 – корпус излучателя, 4 – крышка, 5 – корпус неподвижный, 6 – корпус подвижный, 7 – вал, 8 – подшипник**

Таким образом, в работе рассмотрены современные перспективные тенденции в разработке конструкций суперкавитаторов, перспективы применения которых становятся все более заметны. В каждом случае нужно учитывать ряд технологических и конструктивных параметров и продолжать исследования для оптимизации при разработке той или иной конструкции суперкавитатора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Промтов, М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М.А. Промтов // Вестник ТГТУ. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 861–869.

2. Ладенко, А.А. Суперкавитационная технология очистки систем водоотведения / А.А. Ладенко, В.П. Родионов, Н.В. Ладенко // Научно-технический журнал «Энергоснабжение и водоотведение». – 2016. – Т. 103, №5. – С. 77–79.

3. Петров, О.А. Краткий анализ конструкций статических

суперкавитирующих аппаратов / О.А. Петров, Д.В. Семененко // Сборник науч. трудов по матер.междунар. науч.-практич. конф. Современные проблемы и пути их решения в науке, производстве и образовании`2010. – Т. 4. – Одесса. 2010. – С. 67–69.

УДК 66.021.3

Студ. М. В. Петровский

Науч. рук. д. т. н. П. Е. Вайтехович

(кафедра МиАХиСП, БГТУ)

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРИРОВАННЫХ РЕГУЛЯРНЫХ НАСАДОК**

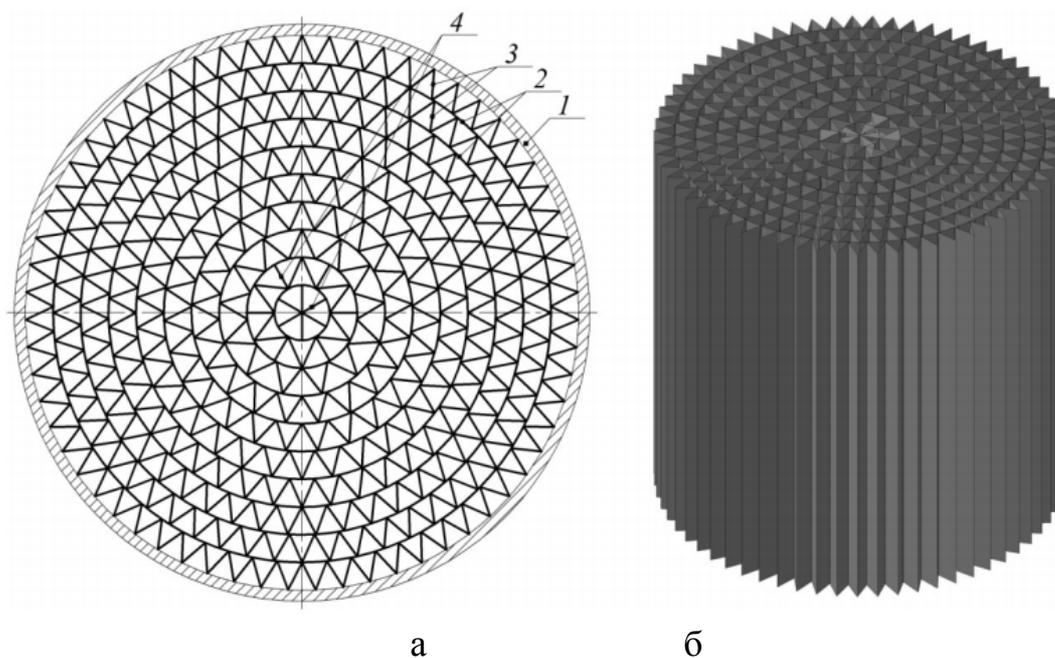
В химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности основным видом технологического оборудования, используемого на предприятиях, являются колонные аппараты, оборудованные контактными массообменными устройствами различных типов и конструкций и предназначенные для осуществления конкретных технологических процессов, связанных с переносом компонентов перерабатываемых потоков между фазами, контактирующими в ходе реализуемого массообменного процесса.

Основными функциональными элементами колонного аппарата являются контактные устройства, правильный выбор числа и конструкции которых при проектировании массообменного аппарата гарантирует эффективность и надежность его эксплуатации в реальных промышленных условиях [1].

На основании обзора и анализа существующих регулярных структурированных насадок для колонных массообменных аппаратов на кафедре машин и аппаратов химических и силикатных производств Белорусского государственного технологического университета разработана и исследована новая регулярная насадка, представленная на рисунке 1.

Регулярная насадка, устанавливаемая в корпусе аппарата 1, состоит из концентрических цилиндров 2, на наружной поверхности которых установлены зигзагообразные ленты 3, а внутри наименьших цилиндров радиально установлены вертикальные перегородки 4. Наружный диаметр насадки соответствует внутреннему диаметру корпуса аппарата.

Регулярная насадка работает следующим образом. Равномерно распределенный по сечению корпуса аппарата 1 газ поступает в каналы, образованные концентрическими цилиндрами 2,



**Рисунок 1 – Схема насадки**  
**а – поперечное сечение насадки; б – 3D чертёж;**  
**1 – корпус аппарата; 2 – цилиндры; 3 – зигзагообразные ленты;**  
**4 – вертикальные перегородки**

вертикальными зигзагообразными лентами 3, вертикальными перегородками 4 и корпусом аппарата 1, и поднимается вверх, взаимодействуя со стекающей по всей поверхности насадки и внутренней поверхности корпуса аппарата в виде пленки жидкостью, равномерно распределенной по сечению корпуса аппарата 1.

Данная конструкция регулярной насадки обеспечивает равномерное распределение газового потока по всему сечению аппарата, что исключает образование застойных зон и увеличивает поверхность контакта фаз. Более равномерное распределение потока газа по рабочему сечению аппарата приводит к снижению его скорости в каналах, а значит, и гидравлического сопротивления насадки.

Экспериментальные исследования разработанной насадки проводились на двух системах: десорбции двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) и насыщение воздуха парами воды. Для первой системы основное сопротивление сосредоточено в жидкой фазе, а для второй – в газовой. Схема экспериментальной установки приведена в работе [2].

Производительность по газу (воздуху), или F-фактор газа,  $(\text{м/с}) \cdot (\text{кг/м}^3)^{-0,5}$ , определялась по уравнению [3]:

$$F = \omega \rho^{-0.5} \quad (1)$$

где  $\omega$  – средняя скорость газа (воздуха), рассчитанная на свободное сечение колонны, м/с;  $\rho$  – плотность газа (воздуха), кг/м<sup>3</sup>.

Средняя скорость воздуха в колонне  $w$ , м/с, определялась по уравнению:

$$\omega = \frac{4V}{\pi d_{\text{вн}}^2} \quad (4)$$

где  $V$  – объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/с.

Плотность орошения  $q$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч), рассчитывалась по формуле:

$$q = \frac{4Q}{\pi d_{\text{вн}}^2} \quad (3)$$

где  $Q$  – объемный расход воды, м<sup>3</sup>/ч.

Эффективность взаимодействия фаз при десорбции CO<sub>2</sub> оценивалась по коэффициенту извлечения[4]:

$$\varphi = \frac{x_n - x_k}{x_n - x_k^*}$$

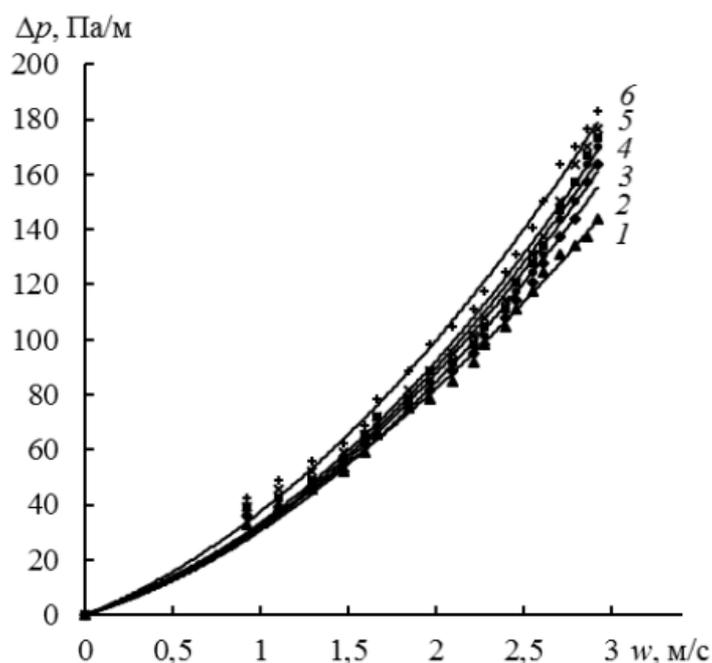
где  $x_n, x_k, x_k^*$  – молярные доли CO<sub>2</sub> в воде на входе, на выходе и равновесная на выходе из колонны соответственно, кмоль CO<sub>2</sub>/кмоль (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O).

Эффективность при испарении жидкости  $E$ :

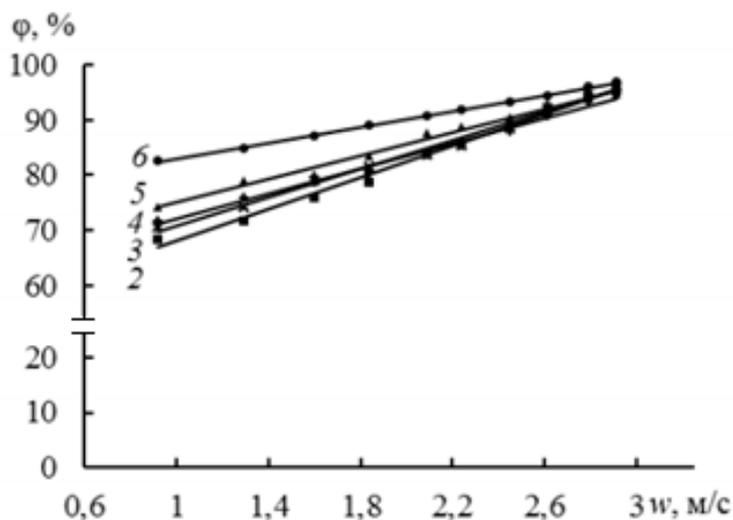
$$E = \frac{x_{\text{вых}} - x_{\text{вх}}}{x_{100} - x_{\text{вх}}}$$

где  $x_{100}$  – абсолютная влажность воздуха, насыщенного водяным паром, кг/м<sup>3</sup>;  $x_{\text{вх}}$  – влажность воздуха на входе в колонну, кг/м<sup>3</sup>;  $x_{\text{вых}}$  – влажность воздуха на выходе из колонны, кг/м<sup>3</sup>.

Результаты экспериментальных исследований гидравлического сопротивления и эффективности насадки представлены на рисунках 2–4.

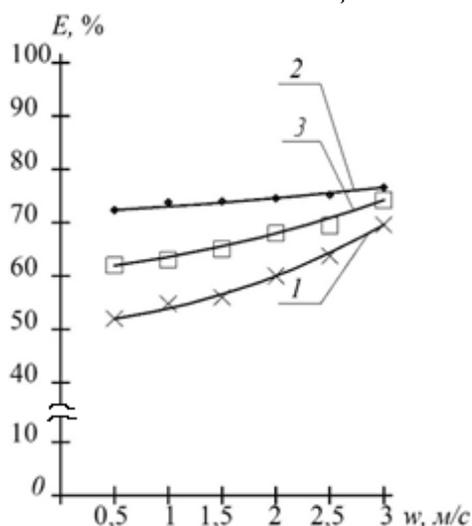


**Рисунок 2 – Зависимость гидравлического сопротивления разработанной насадки от средней скорости газа в аппарате  $w$ , м/с, при различных плотностях орошения  $q$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ :**  
**1 – 0; 2 – 10,9; 3 – 17,8; 4 – 22,3; 5 – 26,9; 6 – 36**



**Рисунок 3 – Зависимость эффективности разработанной насадки от средней скорости газа в аппарате  $w$ , м/с, при различных плотностях орошения  $q$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ :**  
**1 – 0; 2 – 10,9; 3 – 17,8; 4 – 22,3; 5 – 26,9; 6 – 36**

Зависимость эффективности при испарения в системе воздух-вода приведена на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Зависимость эффективности при испарения в системе воздух–вода при различных плотностях орошения  $q$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ :  
1 – 7,33; 2 – 10,75; 3 – 14,15**

Как видно из рисунков 3 и 4 эффективность по жидкой фазе выше, чем по газовой. На обеих системах эффективность массопередачи увеличивается с повышением плотности орошения. Увеличение эффективности массопередачи от скорости газа носит линейный характер. Гидравлическое сопротивление при увеличении скорости газа изменяется по параболическому закону (рис. 2). Для исследуемой насадки оно незначительно зависит от плотности орошения. В целом, гидравлическое сопротивление приходящееся на единицу высоты значительно меньше чем для тарельчатых аппаратов. Таким образом, предлагаемая насадка обладает рядом преимуществ по сравнению с тарелками и имеет широкие перспективы промышленного использования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллин А. З. Разработка конструкций и метод расчета струйных насадок для массообменных процессов: дис. канд. техн. наук: 05.17.08. Уфа, 2003. – 186 с.
2. Вайтехович, П. Е. Разработка и исследование вихревых массообменных аппаратов: дис. канд. техн. наук: 05.17.08. Минск, 1982. – 211 с.
3. Поникаров И. И., Гайнуллин М. Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки. М.: Альфа-М, 2006. – 608 с.
4. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Альянс, 2005. 753 с.

УДК 621.926

Студ. Я.А. Потоцкий

Науч. рук. ассист. В.И. Козловский  
(кафедра МиАХиСП, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ**

Тонкодисперсные материалы в последнее время находят широкое применение во многих отраслях промышленности. Значительно возрастающая при диспергировании удельная поверхность, появление на границе разрыва кристаллов свободных ионов способствуют повышению химической активности взаимодействующих веществ и позволяют получать новые материалы с уникальными свойствами.

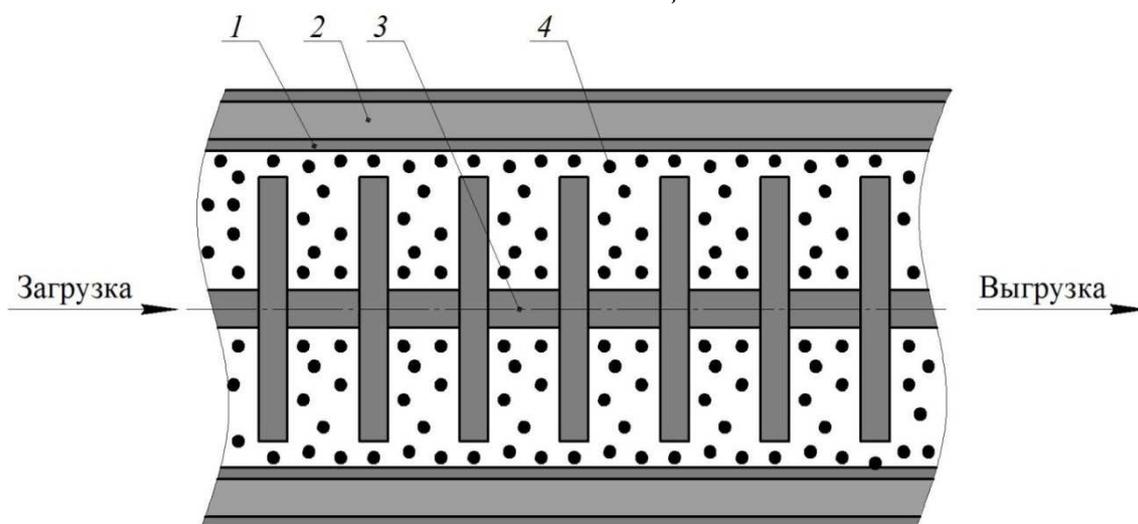
Одним из основных способов получения таких материалов является диспергационный, который традиционно реализуется в измельчителях различных типов. Однако вместе с диспергированием происходит агломерация частиц, по этой причине диспергирование проводят в жидкой среде, что значительно снижает вероятность процесса агломерации. Более того, присутствие жидкости приводит к адсорбционному понижению прочности материала. Жидкость проникает в поверхностные микротрещины и препятствует их смыканию после снятия нагрузки.

Основным оборудованием, применяемым для тонкодисперстного помола, являются бисерные мельницы. Данный тип мельниц реализуется в двух конструктивных исполнениях: с вертикально и горизонтально расположенной помольной камерой. В общем, они представляют собой неподвижный цилиндр (рисунок 1), заполненный шарами, внутри которого вращается перемешивающее устройство. Цилиндр выполняется с рубашкой для водяного охлаждения или без нее.

При измельчении в камеру, внутри которой находятся шарики, заливают суспензию размалываемого порошка. При вращении ротора мельницы осуществляется движение шаров, которые, совершая поступательные и вращательные перемещения, перетирают частицы материала.

В ходе диспергирования в шаровых мельницах с мешалками происходит три процесса:

- 1) смачивание поверхности частиц твердого вещества жидкими компонентами смеси;
- 2) механическое разрушение агломератов до частиц меньших



**Рисунок 1 – Размольная камера шаровой мельницы с мешалкой в продольном сечении.**

**1 – корпус мельницы; 2 – охлаждающая рубашка; 3 – мешалка; 4 – мелющие тела**

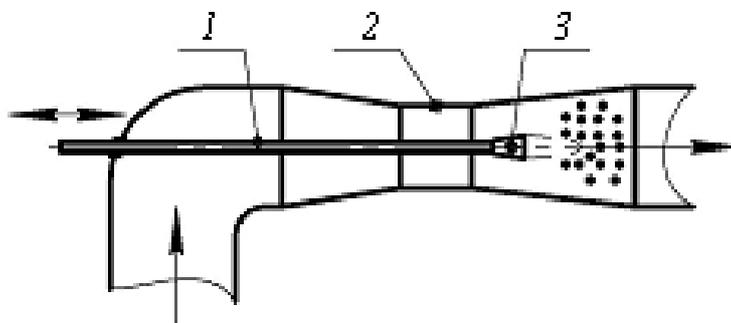
размеров или до первичных частиц;

3) стабилизация первичных частиц или промежуточных агломератов с целью предотвращения повторного агломерирования.

Однако для получения тонкодисперстных материалов не всегда можно использовать один способ измельчения. По этому кроме диспергирования материал можно подвергать механическому воздействию среды. На практике выделяют следующие методы воздействия: кавитация, вибрация, ударная волна, ультразвук, электроимпульс.

Среди этих методов на практике в основном используется ультразвук и кавитация, так как они менее энерго-и металлозатратны и их можно легко внедрить в любой технологический процесс.

Явление кавитации (рисунок 2) возникает в результате



**Рисунок 2 – Статический суперкавитатор**

**1 – стержень; 2 – горловина трубы Вентури; 3 – кавитатор**

понижения давления в жидкости в случае увеличения ее скорости (гидродинамическая кавитация) либо при прохождении интенсивной акустической волны во время полупериода разрежения (акустическая кавитация). С движением потока в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия кавитационный пузырек захлопывается, излучая при этом ударную волну.

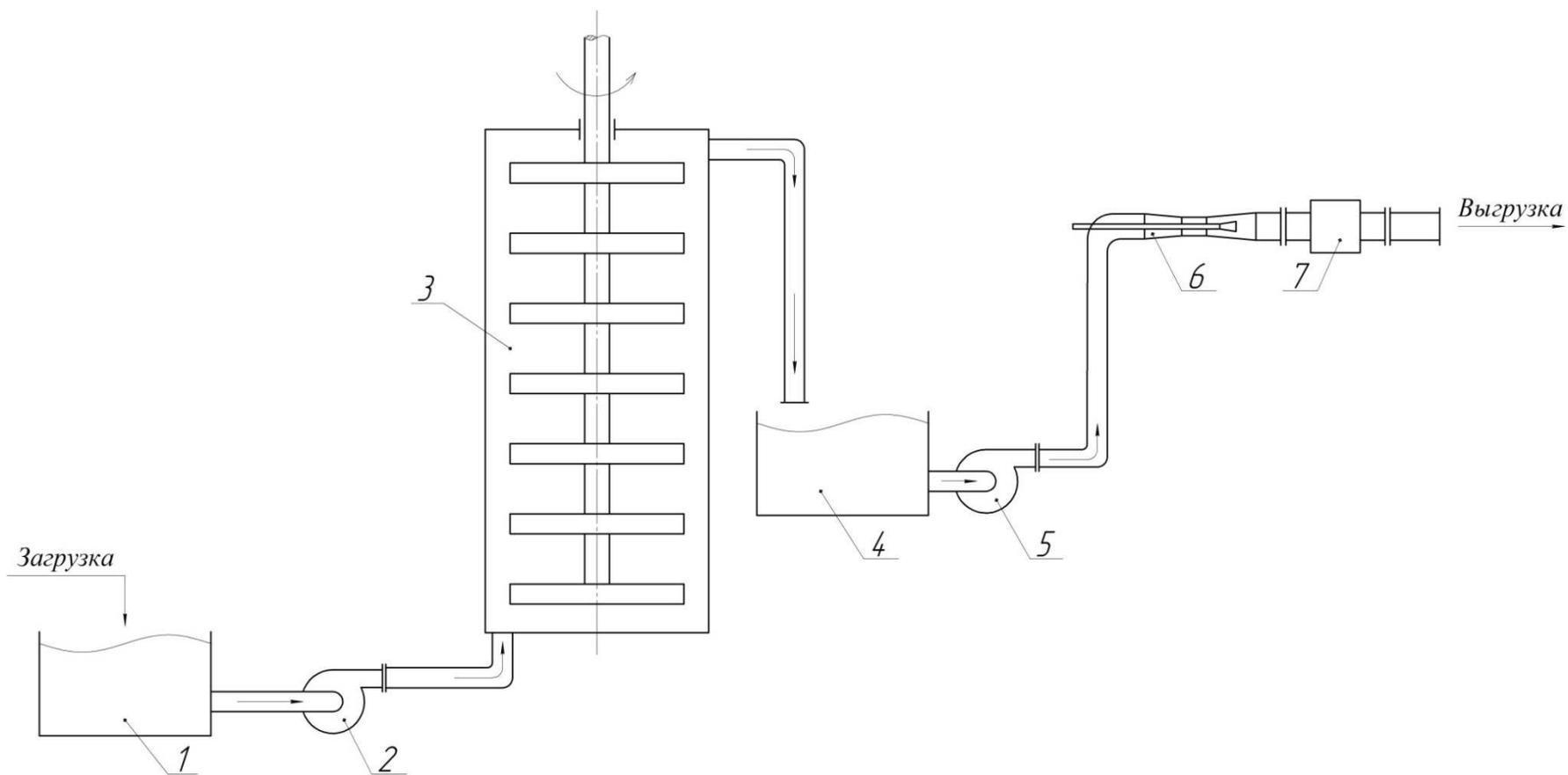
Иными словами, физический процесс кавитации близок процессу закипания жидкости. Различаются они лишь в том, что при закипании изменение фазового состояния жидкости происходит при среднем по объему жидкости давлении, равном давлению насыщенного пара, в то время как при кавитации среднее давление жидкости превосходит давление насыщенного пара, а понижение давления носит локальный характер.

Ультразвук – это механические колебания, распространяющиеся в материальных средах. По свойствам они аналогичны обычным звукам, отличаются только высокой частотой и поэтому, при распространении ультразвука в любых материальных средах, частицы этих сред совершают колебания с частотой более 20000 раз в секунду с амплитудой до сотых долей миллиметра. При таких колебаниях происходят локальные разрывы жидкости с образованием парогазовых пузырьков, запаасающих энергию волны при расширении и выделяющих ее в моменты сжатия в виде ударных волн и коммулятивных струй. Эти ударные волны и струи разрушают позволяют разрушать материалы.

В ходе научной работы была разработана схема совместного диспергирования материалов в бисерной мельнице с дополнительным воздействием кавитации и ультразвука (рисунок 3).

Принцип работы заключается в том, что материал, поступаая из бака 1 с помощью насоса 2, попадает в бисерную мельницу 3, где проходит первичный помол. После этого материал поступает в промежуточный бак 4, откуда насосом 5 подаётся в кавитатор 6 и ультразвуковой диспергатор 7, где происходит последняя стадия помола.

Данная установка позволит проследить степень диспергирования материала на каждом этапе помола, а так же выяснить на каком из этапов будет целесообразно уменьшить расход энергии, не ухудшив при этом качество диспергируемого материала.



**Рисунок 3 – Схема совместного диспергирования материалов**  
1 – бак; 2, 5 – насос; 3 – бисерная мельница; 4 – промежуточный бак; 6 – кавитатор; 7 – ультразвуковой диспергатор

УДК 66.021.3

Магистрант. А.А. Ревяшко

Науч. рук.: зав. кафедрой, к.т.н. доц. В.С. Францкевич  
(Кафедра машин и аппаратов химических и силикатных  
производств БГТУ)

## **ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Технологические процессы получения лакокрасочных покрытий разнообразны. Это связано с функциональным назначением окрашиваемого изделия, условиями его эксплуатации, характером окрашиваемой поверхности, применяемыми методами окрашивания и формирования покрытия. Процесс получения лакокрасочного покрытия заключается в выполнении следующих обязательных стадий: подготовка поверхности перед окрашиванием; нанесение ЛКМ на окрашиваемую поверхность; отверждение ЛКМ. Каждая из стадий оказывает влияние на качество получаемого лакокрасочного покрытия и его долговечность. Немаловажное значение в обеспечении защитного действия лакокрасочного покрытия при прочих равных условиях имеет природа применяемого грунтовочного слоя как фактора обеспечения хорошей адгезии комплексного лакокрасочного покрытия и общая толщина покрытия. В связи с этим при разработке конкретных технологических процессов окрашивания для получения долговечного покрытий важен оптимальный выбор каждой стадии процесса окрашивания, грунтовочного слоя и толщины покрытия. Рассмотрим влияние указанных факторов на долговечность лакокрасочных покрытий в отдельности.

***Влияние подготовки поверхности перед окрашиванием на долговечность покрытия:*** Подготовка поверхности перед окрашиванием играет важную роль в обеспечении долговечности всего лакокрасочного покрытия. Многолетний опыт применения покрытий в различных отраслях промышленности показывает, что их долговечность на 65-75% определяется качеством подготовки поверхности перед окрашиванием. Недостаточная подготовка поверхности металла перед окрашиванием вызывает ряд нежелательных последствий: ухудшение сцепления покрытия с основой (адгезия); развитие под покрытием коррозионных процессов; образование в покрытии пузырьков; растрескивание и расслоение покрытия; ухудшение декоративных свойств покрытия.

Между долговечностью покрытия и степенью очистки поверхности существует четко проявляющаяся зависимость. В случае применения механических способов подготовки поверхности ориентировочные коэффициенты повышения сроков службы системы ПК в зависимости от подготовки поверхности можно представить следующим образом:

окрашивание по ржавой или неподготовленной поверхности — 1,0; очистка ручным способом — 2,0-1,5; абразивная очистка — 3,5-4,0.

В качестве примера можно провести данные по долговечности комплексного покрытия на основе хлорвинилового пленкообразователя толщиной 120 мкм в зависимости от способа подготовки поверхности перед окрашиванием, представленные в таблице. Данные получены при проведении испытаний покрытий эмалью ХВ-16 (4 слоя) по грунтовке ФЛ-03К (2 слоя) на атмосферной измерительной станции в Хотьково.

В таблице показаны так же данные по влиянию способа подготовки поверхности на долговечность системы покрытий грунтовкой ГФ-017 и эмалью МЛ-12 красной толщиной 80 мкм в условиях умеренного климата.

**Таблица**

Способ подготовки поверхности	Долговечность лет	
	Эмаль ХВ-16	Эмаль МЛ-12
Ручная очистка	3	—
Механическая очистка	4	—
Травление	6	—
Пескоструйная очистка	8	—
Обезжиривание	—	3
Пескоструйная очистка	—	7
Фосфатирование без активатора	—	10
Фосфатирование с активатором	—	12

Влияние способов подготовки поверхности на защитные свойства покрытия объясняется тем, что в случае применения механической и тем более пескоструйной очистки повышается адгезия покрытия к поверхности металла. В случае применения фосфатных слоев наряду с повышением адгезионной прочности покрытия наблюдается сохранение ее стабильности в процессе эксплуатации. Имеющийся на поверхности металла фосфатный слой препятствует распространению подпленочной коррозии при воздействии агрессивных факторов. При этом фосфатирование с активатором способствует образованию на поверхности металла малопористого кристаллического слоя, что также повышает физико-механические показатели покрытия. Таким образом, по степени увеличения защитных свойств комплексных лакокрасочных покрытий способы подготовки поверхности располагаются в следующий ряд: обезжиривание; ручная очистка; механическая очистка;

пескоструйная очистка; фосфатирование; фосфатирование с активатором.

**Влияние методов окрашивания на долговечность лакокрасочного покрытия:** Метод окрашивания и условия нанесения существенно влияют на долговечность лакокрасочного покрытия. Определение долговечности лакокрасочного покрытия на основе эмали ПФ-115, полученного разными методами при эксплуатации в атмосферных условиях показало следующее. Более высокая устойчивость декоративных и защитных свойств наблюдается у покрытий, нанесенных методом электростатического распыления. Затем, по убыванию долговечности покрытия следуют: пневматическое распыление безвоздушное распыление, струйный облив, окунание. Разница в сроках службы покрытия при переходе от одного метода окрашивания к другому может составлять 15-25%.

**Влияние условий нанесения ЛКМ на долговечность покрытия**

Условия нанесения ЛКМ (влажность и температура окружающего воздуха) влияют на качество и долговечность лакокрасочных покрытий. При несоблюдении температурно-влажностных параметров процесса окрашивания на поверхности сформированного покрытия появляются различные дефекты (шагрень, проколы), которые приводят не только к ухудшению внешнего вида покрытия, но и значительно снижают его долговечность. Температурно-влажностные параметры окрашивания регламентируются ГОСТ 9.105 «Покрытия лакокрасочные. Классификация и основные параметры методов окрашивания».

**Влияние режима отверждения на защитные и физико-механические свойства лакокрасочного покрытия:** Режим отверждения также влияет на защитные и физико-механические свойства лакокрасочных покрытий. Покрытия, сформированные в результате горячей сушки, более устойчивы к воздействию климатических факторов и агрессивных сред. Это объясняется тем, что при формировании покрытия при повышенных температурах образуется более плотная сшивка покрытия. Физико-механические свойства неоднозначно зависят от применяемой температуры сушки ЛКМ. Часто при горячей сушке наблюдается охрупчивание покрытия, что приводит к снижению их прочностных свойств.

**Влияние грунтовочного слоя на защитное действие лакокрасочных покрытий:** Природа грунтовочного слоя определяет защитное действие лакокрасочных покрытий. Грунтовочный слой обеспечивает прочную адгезионную связь покрытия с металлом, изоляцию его от проникновения коррозионно-активных реагентов, пассивацию металла. Механизм действия грунтовок разнообразен. В

соответствии с механизмом защитного действия грунтовок, долговечность комплексного покрытия различна в одних и тех же условиях эксплуатации. По механизму защитного действия грунтовок подразделяют на: изолирующие; фосфатирующие; пассивирующие; протекторные; модификаторы ржавчины. Пассивирующие грунтовки имеют лучшие защитные свойства по сравнению с изолирующими грунтовками, так как наряду с барьерной защитой металлической поверхности обладают и ингибирующим действием.

Исследовано влияние грунтовок различной природы на долговечность покрытия эмалью ХВ-774 при воздействии уксусной кислоты. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице. В данном случае влияние природы грунтовочных слоев на долговечность комплексного покрытия связано с развитием подпленочных коррозионных процессов и характером его подавления грунтовочным слоем.

**Таблица - Влияние грунтовочного слоя на долговечность покрытий эмалью ХВ-774 (6 слоев) при воздействии 60% уксусной кислоты**

Грунтовка	Скорость подпленочной коррозии, мм/год	Индукционный период, ч	Эффективный коэффициент диффузии, $D \cdot 10^{-10}$ , см <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup>
ХС-068	0,701	112,2	0,59
ФЛ-03К	0,894	78,8	0,85
ХВ-050	5,43	66,6	0,99
ХС-059	7,88	57,6	1,16

**Влияние толщины лакокрасочного покрытия на долговечность покрытия:** Толщина лакокрасочных покрытий, обеспечивающих противокоррозионную защиту, должна быть достаточно большой. Толщина покрытия влияет на скорость проникновения агрессивных агентов к поверхности металла. Поэтому, для условий эксплуатации с различными параметрами агрессивности толщина покрытия устанавливается в соответствии со степенью агрессивности среды. Вместе с тем существует мнение, что не всегда наращивание толщины покрытия приводит к повышению его противокоррозионных свойств. При значительной толщине покрытия могут возникать внутренние напряжения, приводящие к расслаиванию. Толщина покрытий должна гарантировать отсутствие капиллярной проницаемости, т.е. быть несколько больше критической толщины покрытия. Для различных условий эксплуатации превышение толщины покрытия сверх критической колеблется в 1,5-5 раз. В идеальном случае этот коэффициент подбирается опытным путем.

УДК 661.333.1

Студ. Р.А. Воронцов

Науч. рук. д.т.н., проф. Л.С. Ещенко  
(кафедра ТНВ и ОХТ, БГТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ СУЛЬФАТА ЖЕЛЕЗА В ПРИСУТСТВИИ ГИДРОКСИДА КАЛИЯ**

Актуальной проблемой является разработка способов переработки железного купороса на железосодержащие пигменты, направленных на снижение энергопотребления технологических стадий и их количество, а также на охрану окружающей среды. Особое значение приобретает создание пигментов с низкой стоимостью для строительной отрасли. Наличие серьёзных недостатков в существующих методах делает актуальной проблему поиска новых способов переработки железного купороса, которые были бы их лишены. Следует отметить, что одним из перспективных направлений интенсификации процесса в химической технологии является механоактивация. Имеется ряд работ, в которых авторы отмечают, что в процессе механоактивации возможно разрушение структуры реагента и тем самым увеличение его реакционной способности. Известно, что структура железного купороса достаточно прочная, и, следовательно, известные способы его переработки, основанные на высокотемпературном термическом разложении, либо на мокрых способах имеют ряд недостатков. Поэтому определенный интерес представляет механическая активация химической реакции между железным купоросом и щелочным реагентом. Исходя из этого, целью работы явилась разработка способа получения пигментных материалов с применением механоактивации в присутствии щелочного реагента.

Исследование процесса взаимодействия реагентов в системе  $\text{FeSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-KOH-H}_2\text{O-O}_2$  проводили следующим образом: железный купорос, имеющий состав, мас. % –  $\text{FeSO}_4$  – 47,8,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 1,2,  $\text{H}_2\text{O}_{\text{крист}}$  – 47,3,  $\text{H}_2\text{O}_{\text{св}}$  – 3,7, интенсивно перемешивали с 65%-ным раствором KOH в вибрационной мельнице в течении 10 минут. Необходимую концентрацию щелочного реагента подбирали таким образом, чтобы содержание воды в системе находилось в диапазоне 42,0 – 47,0 мас. %, в соответствии с [1]. После механической активации в полученную пасту вводили расчетное количество воды для образования насыщенного раствора  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , смесь подвергали нагреванию на водяной бане при барботаже воздухом, затем жидкую фазу отделяли от твердой, которую трехкратно отмывали водой. Твердую пастообразную железосодержащую массу подвергали сушке и последующей

термообработке, а жидкую фазу (фильтрат) охлаждали с целью кристаллизации  $K_2SO_4$ . Железосодержащие образцы подвергнуты термообработке в интервале температур 200-900 °С.

Для анализа полученных продуктов использовали химические и физическо-химические методы анализа, такие как определение содержания  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $H_2O$ , а также фазового состава образующихся продуктов. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице.

**Таблица – Характеристика продуктов конверсии**

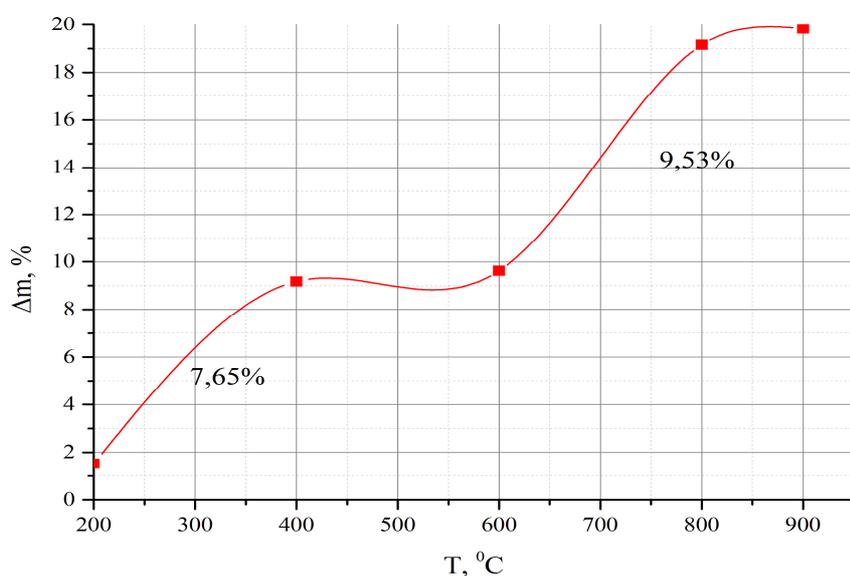
Наименование стадии процесса	Характеристика образцов	Содержание FeO, мас. %	Фазовый состав
Механообработка	Пастообразный черный продукт; обладает магнитными свойствами	13,98	Продукт слабо кристаллизован
Сушка в микроволновой печи	Высокодисперсный порошок коричневого цвета	7,05	Маггемит $\gamma-Fe_2O_3$
Термообработка при 900 °С	Высокодисперсный порошок вишневого цвета	1,76	Гематит $\alpha-Fe_2O_3$

В результате механической активации образуется паста черного цвета, обладающая магнитными свойствами. Вероятно, это связано с образованием магнетита, который является ферритом. Большое содержание  $Fe^{2+}$  в данной пасте говорит о невысокой степени окисления железа в результате синтеза.

В процессе последующей стадии отмывки продукта протекает дальнейшее окисление  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$ . Отмечено, что после отмывки железосодержащей фазы и охлаждения фильтрата наряду с кристаллами  $K_2SO_4$  образуется небольшое количество осадка желто-коричневого цвета, характерного для соединений Fe(III). Данный факт может быть связан с образованием сульфатов железа(III) при окислении  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$ , а также комплексных водорастворимых соединений Fe(II) и Fe(III), в которых лигандами являются сульфат-ионы, OH-группы и молекулы воды.

При сушке в микроволновой печи при мощности 70 Вт (100 мин) и 350 Вт (20 мин), по мере удаления свободной воды происходит процесс дальнейшего окисления железа. При этом пигмент приобретает коричневый цвет. Характерно, что рентгенографически в исследуемых порошках после сушки идентифицируется только фаза маггемита  $\gamma-Fe_2O_3$ , другие фазы, ввиду их низкого содержания либо рентгеноаморфности, рентгенографически не обнаруживаются.

Исследована зависимость потери массы высушенных образцов от температуры (рисунок) и показано, что в интервале температур 200-400°C удаляется 7,65 мас. % H<sub>2</sub>O, нагревание до 600°C увеличивает потерю массы на 0,45%. Резкий скачок потери массы, равный 9,53 мас. %, характерен для интервала температур 600-800°C, что следует объяснить термическим разложением железосульфатсодержащих соединений, имеющих в составе продуктов конверсии железного купороса. При термической обработке образцов изменяется их окраска от коричневого до вишневого, что говорит о переходе при температуре выше 600°C  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – гематит.



**Рисунок – Зависимость потери массы от температуры**

Анализ и обобщение экспериментальных данных показали, что при конверсии железного купороса в вибрационной мельнице в присутствии гидроксида калия уже на стадии химического взаимодействия образуется и формируется маггемит, который является устойчивой фазой до 600°C. Маггемит  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> имеет насыщенный коричневый цвет и является основой коричневых железоксидных пигментов, которые, в основном, получают смешением красных и черных пигментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Получение пигментного материала в системе FeSO[4]-CaO-H[2]O для окрашивания силикатного кирпича / Л. С. Ещенко [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. - Минск: БГТУ, 2018. - № 2 (211). - С. 113-117.

УДК 666.189.2

Студ. А. А. Дудик

Науч. рук. ст. преп., к.т.н. А.П. Кравчук  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ  
MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>, МОДИФИЦИРОВАННЫХ  
ОКСИДАМИ TiO<sub>2</sub> И ZrO<sub>2</sub>**

Композиционные материалы, характеризующиеся высокой механической прочностью, востребованы в различных областях машино- и авиастроении, в клинической стоматологии. В современной стоматологической практике все большее распространение получают адгезивные технологии, которые позволяют оказывать эффективную помощь пациентам и достигать хорошие результаты их лечения. Активное развитие адгезивных технологий составляет альтернативу традиционным методам протезирования и предполагает широкое применение армирующих конструкций и композиционных материалов. Однако используемые композитные материалы импортируются из-за рубежа и характеризуются высокой стоимостью.

В качестве основы армирующих конструкций и композиционных материалов, применяемых в клинической стоматологии, используются различные волокнистые материалы: арамидное и полиэтиленовое волокно, стекловолокно, углеродное волокно, шелк. По совокупности технико-эксплуатационных характеристик: высокой прочности, физических и оптических свойств, подобных твердым тканям зуба, биосовместимости, отсутствию сенсibiliзирующего действия на пациента и врача, универсальности, удобству и легкости в применении стекловолокно превосходит аналогичные материалы.

Для создания отечественных композиционных материалов и адгезивных конструкций возможно использование выпускаемого в Республике Беларусь на ОАО «Полоцк-Стекловолокно» стекловолокна типа ВМП (высокопрочное), однако его сравнительно невысокая термическая и химическая однородность отрицательно влияют на эксплуатационные характеристики готового продукта. Следует отметить, что получение такого типа волокна требует повышенной температуры формования (около 1200 °С) для предотвращения кристаллизации и обрыва волокна при его выработке, что усложняет технологический процесс получения стекловолокна.

В этой связи целесообразно разработать составы стекол для получения волокна, сочетающие приемлемый уровень технологических параметров, высокую прочность и химическую стойкость.

Анализ данных литературы показывает, что наибольший интерес для получения высокопрочных стекол с приемлемыми технологическими характеристиками представляет система  $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , которая и была выбрана для дальнейших исследований. Синтез стекол осуществлялся в области системы, ограниченной содержанием компонентов, мас. %:  $\text{SiO}_2$  55–60;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 25;  $\text{MgO}$  – 15. Для улучшения технологических свойств и механической прочности в составы стекол взамен  $\text{SiO}_2$  вводились  $\text{TiO}_2$  и  $\text{ZrO}_2$ , содержание которых варьировалось в интервале от 0 до 6 мас. %.

Варка стекол осуществлялась при температуре 1540–1580 °С. В результате визуальной оценки полученных образцов выявлено, что при увеличении количества  $\text{TiO}_2$  и  $\text{ZrO}_2$  взамен  $\text{SiO}_2$  более 4 мас. % наблюдается появление мелких пузырей и непровара в значительном количестве. Отмечаются существенные различия в окраске стекол, в которые вводили  $\text{TiO}_2$  и  $\text{ZrO}_2$ . При замене  $\text{SiO}_2$  на  $\text{ZrO}_2$  существенных изменений окраски не наблюдается. Добавка  $\text{TiO}_2$  приводит к появлению дымчатого окрашивания, которое усиливается с ростом количества  $\text{TiO}_2$  в составе стекла и, по-видимому, обусловлено присутствием ионов  $\text{Ti}^{3+}$ .

При выработке стеклянного волокна следует учитывать склонность стекла к кристаллизации (кристаллизационную способность стекла). Кристаллические включения в расплаве стекла, предназначенного для производства стеклянного волокна, вызывают обрывность в процессе выработки и снижают механическую прочность волокна. При исследовании устойчивости стеклообразного состояния экспериментальных стекол методом градиентной термообработки определено, что образцы характеризуются наличием кристаллической пленки в интервале температур от 850 до 1150 °С. Добавка 2 – 6 мас. % оксида  $\text{TiO}_2$  в составы стекол вызывает повышение их склонности к кристаллизации. Замена  $\text{SiO}_2$  на  $\text{ZrO}_2$  наоборот вызывает уменьшение интервала кристаллизации стекол и сдвиг температуры нижнего предела кристаллизации на 10 – 15 °С в высокотемпературную область, что, по-видимому, обусловлено повышением низкотемпературной вязкости стекла.

Проведены исследования механических и физико-химических свойств исследуемых стекол. Потери массы образцов при обработке 2н раствором  $\text{NaOH}$  оказались сравнительно невелики и составили 0,5–2 %, несмотря на то, что щелочные растворы относятся к реагентам второй группы и агрессивно воздействуют на структурную сетку стекла. Высокое содержание  $\text{SiO}_2$  в составе стекла приводит к повышению степени связности его структурной сетки, снижению доли

реакционно-способных немостиковых ионов кислорода и снижению потерь массы. Замена  $\text{SiO}_2$  на  $\text{ZrO}_2$  не оказывала существенного влияния на изменение щелочестойкости. Наибольшие потери массы имеет состав стекла, содержащий 6 %  $\text{TiO}_2$ .

Менее устойчивыми оказались стекла по отношению 2н раствору соляной кислоты. Показатели потерь массы при обработке 1н раствором  $\text{HCl}$  варьировались в интервале от 2,78 до 12,61 %. Наибольшие потери массы при обработке кислотой имели образцы стекла, содержащие максимальное количество  $\text{TiO}_2$  в своем составе.

Определяющим свойством для стекловолокна, используемого в стоматологии, наряду с химической устойчивостью, является механическая прочность, которую оценивали на основе данных определения микротвердости и коэффициента трещиностойкости стекол по методу Виккерса.

Значения микротвердости стекол весьма высоки и варьируются в пределах от 5780 до 6210 МПа, что вполне характерно для бесщелочных магнийалюмосиликатных стекол, которые обладают высокой степенью связанности структуры. При введении в состав стекол оксидов титана и циркония взамен оксида кремния микротвердость стекла незначительно снижалась.

Коэффициент трещиностойкости положительно коррелирует с механической прочностью стекол. Стекла с большим коэффициентом трещиностойкости характеризуется большей механической прочностью. Согласно полученным данным, при замене  $\text{SiO}_2$  на  $\text{TiO}_2$  и  $\text{ZrO}_2$  коэффициент трещиностойкости возрастает от 0,79 до 0,91 МПа/м<sup>0,5</sup>, причем  $\text{ZrO}_2$  повышает коэффициент трещиностойкости в большей степени, чем  $\text{TiO}_2$ . Такое влияние на механические свойства вполне характерно для многозарядных катионов  $\text{Ti}^{4+}$  и  $\text{Zr}^{4+}$  с большой силой поля.

Сравнение полученных экспериментальных данных исследований магнийалюмосиликатных стекол, модифицированных оксидами  $\text{TiO}_2$  и  $\text{ZrO}_2$ , показало, что суммарное содержание  $\text{TiO}_2$  и  $\text{ZrO}_2$  в стеклах следует ограничить, поскольку при увеличении их количества взамен  $\text{SiO}_2$  более 4 мас.%, несмотря на повышение коэффициента трещиностойкости, ухудшаются технологические свойства стекол и их устойчивость к действию соляной кислоты. В связи с этим для получения высокопрочного и химически стойкого волокна наибольший интерес представляют составы стекол, содержащие оксиды  $\text{ZrO}_2$  и  $\text{TiO}_2$  в количестве не более 2,0 мас.%.

УДК 611.11.01:537.86

Студ. В.А. Малявская

Науч. рук. доц. к.т.н. М.В. Дяденко  
(кафедра технологии стекла и керамики БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОЗАЩИТНЫХ СТЕКОЛ**

Радиозащитным называют стекло, ослабляющее воздействие сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения. При его попадании на тело человека происходит частичное поглощение поступающей энергии тканями организма, в результате чего в них возбуждаются высокочастотные токи, вызывающие его нагрев. При длительном и регулярном воздействии СВЧ-излучение приводит к глубинным изменениям: в крови и щитовидной железе, вызывает снижение эффективности адаптационных и обменных процессов, изменения в психической сфере.

Защита от электромагнитного облучения может быть достигнута путем установки радиоотражающих или радиопоглощающих экранов на основе неорганических материалов, существенно снижающих уровень электромагнитных полей [1].

В связи с этим основной задачей данной работы является разработка составов радиозащитных стекол, обладающих низкой кристаллизационной способностью, суммарной величиной поглощения и отражения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона не менее 75 %. В качестве основы для получения радиозащитных стекол определена система BaO–ZnO–PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Выбор данной системы обусловлен отсутствием в составе таких стекол оксидов щелочных металлов, которые значительно снижают химическую устойчивость стекол. Вводимые катионы Ba<sup>2+</sup> и Zn<sup>2+</sup> являются крупными по размерам и легкополяризуемыми, что является причиной повышенного уровня диэлектрических потерь в сравнении со стеклами высококремнеземистых составов. Вместе с тем значительное количество PbO в составах стекол обуславливает их невысокое сопротивление.

Известно [2], что при содержании PbO выше 15–20 мас. % свинец входит в структурную сетку стекла в форме [PbO<sub>4</sub>]. Однако следует иметь ввиду, что стекла с высоким содержанием оксида свинца как правило характеризуются наличием желтой окраски.

Синтез опытных стекол осуществлялся в электрической печи периодического действия при максимальной температуре (1000±20)°С.

Для оценки кристаллизационной способности синтезируемых стекол проведена их градиентная термообработка в интервале температур 490–700 °С. По результатам исследования

кристаллизационной способности опытных стекол установлено следующее: образцы, включающие 6,5–7,0 PbO/ZnO характеризуются наличием поверхностной пленки, что свидетельствует об их недостаточно высокой устойчивости стеклообразного состояния. Стекла остальных составов не проявляют признаки фазового разделения.

Плотность стекла характеризует количественное содержание массы вещества в единице объема. С одной стороны, знание плотности стекол позволяет оценить массу готового изделия, а с другой – степень постоянства плотности и химического состава стекол характеризует их однородность. Кроме того, плотность является одним из факторов, определяющих величину коэффициента стоячей волны (КСВ): чем выше плотность, тем большее количество электромагнитного излучения может быть отражено стеклом. Плотность стекол определялась методом гидростатического взвешивания.

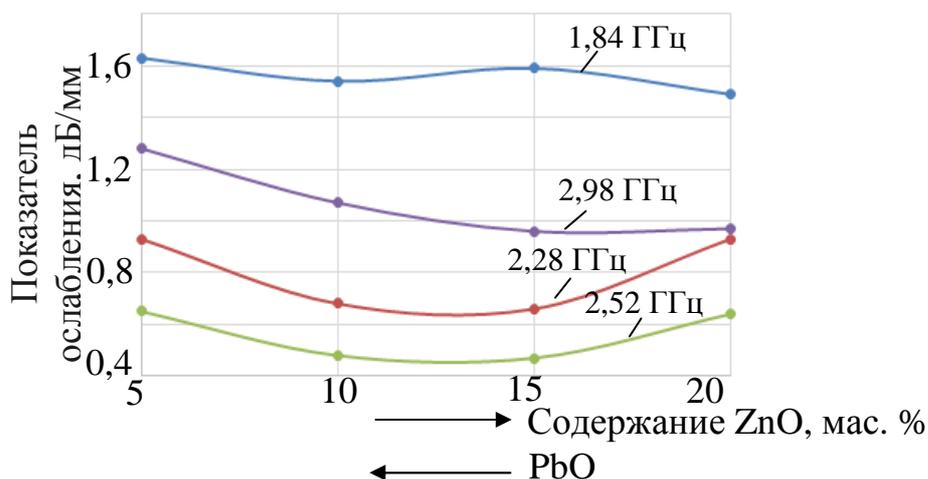
Экспериментально установлено, что определяющее влияние на величину плотности опытных стекол оказывает оксид свинца. Наиболее оптимальной с точки зрения получения радиозащитных стекол является область, включающая 15–20 мас. %  $B_2O_3$ .

Необходимость изучения влияния химического состава опытных стекол на величину их температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) обусловлена тем, что энергия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона при ее распространении в веществе преобразуется в другие виды энергии, в частности, в электрическую и тепловую [1]. В связи с этим радиозащитный материал должен иметь высокую термостойкость, которая зависит, в первую очередь, от ТКЛР. Определение данного показателя в работе осуществляется dilatометрическим методом, по результатам которого установлено, что ТКЛР опытных стекол варьируется в пределах  $(75,40–103,26) \cdot 10^{-7} K^{-1}$ . При этом его минимальная величина характерна для стекол, в которых массовое соотношение PbO/ $B_2O_3$  составляет 2,4–3,2. Дело в том, что с ростом содержания  $B_2O_3$ , вводимого взамен ZnO, наблюдается снижение ТКЛР опытных стекол, так как введение оксида бора в их состав способствует полимеризации структурного каркаса стекла за счет образования прочных координационных полиэдров  $[BO_4]$  [3, 4].

Радиофизические свойства (показатель ослабления, коэффициент стоячей волны) опытных стекол оценивались волноводным методом в диапазоне 1–3 ГГц, по результатам которого установлено, что показатель ослабления электромагнитной волны

СВЧ-диапазона опытных стекол изменяется от 0,40 до 1,70 дБ/мм, а коэффициент стоячей волны – в пределах 0,22–0,79 дБ/мм.

На рисунке 1 представлена графическая зависимость показателя ослабления электромагнитного излучения опытными стеклами от содержания ZnO.



**Рисунок 1 – Зависимость показателя ослабления электромагнитного излучения опытными стеклами от содержания ZnO**

Как следует из рисунка 1, величина показателя ослабления электромагнитного излучения определяется главным образом частотой прилагаемого электрического поля. Так, максимальная величина показателя ослабления наблюдается при частоте 1,84 ГГц. Вместе с тем введение ZnO в состав опытных стекол взамен PbO в количестве от 5 до 20 мас. %, несколько снижает данный показатель. Дело в том, что одним из источников релаксационных потерь в неорганических стеклах являются слабосвязанные ионы щелочных либо щелочноземельных металлов. Прилагаемое электрическое поле вызывает асимметрию в распределении зарядов, в результате чего возникает электромагнитное поле, что проявляется в росте показателя ослабления.

Графическая зависимость коэффициента стоячей волны от содержания PbO в составе опытных стекол представлена на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что увеличение содержания PbO от 60 до 70 мас. % при всех частотах поля обуславливает снижение КСВ. Дальнейшее повышение оксида свинца от 70 до 75 мас. % вызывает рост данного показателя и тем интенсивнее, чем выше частота поля (для частот 1,84, 2,28 и 2,52 ГГц).

По результатам исследований установлено, что оптимальной с точки зрения получения радиозащитных стекол является область составов, включающая 0,15–0,25 ZnO/PbO.

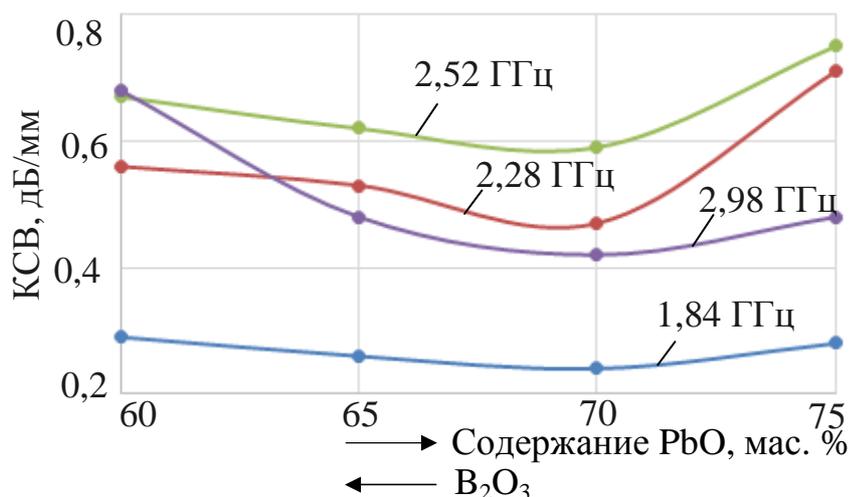


Рисунок 2 – Зависимость КСВ от содержания PbO в составе стекла

На основании проведенных исследований определено стекло оптимального состава, в максимальной степени отвечающее предъявляемым к нему требованиям, однако оно характеризуется относительно невысоким показателем ослабления. В связи с этим на основе стекла оптимального состава системы BaO–ZnO–PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> синтезирована серия модифицированных стекол с частичной заменой PbO на Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Экспериментально определено, что показатель ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона модифицированных стекол изменяется в пределах от 0,75 до 1,83 дБ/мм. При этом максимальное значение показателя ослабления достигается в стеклах с массовым соотношением PbO/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, составляющим 9,0.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что для получения стекол, значительно ослабляющих электромагнитное излучение и отвечающих в максимальной степени предъявляемым к ним требованиям, могут быть использованы составы, включающие 0,15–0,25 ZnO/PbO и в которых массовое соотношение PbO/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет 9,0.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Банный, В.А. Оценка уровня электромагнитного фона и способы защиты от СВЧ-излучения / В.А. Банный. – Гомель: ГомГМУ, 2015. – 62 с.
2. Павлушкин, Н.М. Легкоплавкие стекла / Н.М. Павлушкин, А.К. Журавлев. – М.: Энергия, 1970. – 145 с.
3. Аппен А.А. Химия стекла / А.А. Аппен. М.: Химия, 1974. – 360 с.
4. Шелби, Дж. Структура, свойства и технология стекла / Дж. Шелби. – М.: Мир, 2006. – 288 с.

УДК 666.3/.7

О.А. Хотиловская; студ. М.А. Руба

Науч. рук.: доц., к.т.н. Е.М. Дятлова; асс., к.т.н. О.А. Сергиевич  
(кафедра ТСиК, ФКиАХ, БГТУ)

## **ПОЛУЧЕНИЕ ВОЛЛАСТОНИТСОДЕРЖАЩИХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

Перспективность разработки керамических огнеупорных материалов на основе волластонита заключается в решении проблемы обеспечения литейного производства машиностроительной отрасли промышленности РБ огнеприпасом собственного производства с заданным комплексом термомеханических характеристик, химически инертным к расплавам алюминия и его сплавов. Такие материалы имеют ряд достоинств: малая плотность, высокая пористость, низкий коэффициент теплопроводности – не более 0,3–0,5 Вт/(м·К), количество отливок – более 1000, высокая термо- и шлакоустойчивость [1]. Получение таких материалов собственного производства на отечественных предприятиях Республики Беларусь позволит значительно сократить дорогостоящий импорт.

Волластонит формируется на основе диаграммы состояния системы  $\text{CaO-SiO}_2$ , построенной в основном по данным Г. Ранкина и Ф. Райта, но с некоторыми уточнениями и дополнениями относительно соединения  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  и области ликвации, а также имеет исключительное значение для техники, в частности для технологии цементов, шлаков черной металлургии, некоторых видов керамики [2]. Структура волластонита характеризуется повторяющимися, переплетенными тройными четырехгранниками кварца. Цепочки, формируемые этими кварцевыми четырехгранниками, соединены по сторонам через кальций, образуя восьмигранники. Благодаря такой структуре, волластонит растет как игольчатый кристалл и сохраняет эту игольчатую структуру при расщеплении. Высокая плотность кварцевых цепочек обеспечивает твердость этого минерала (4,5–5 по Моосу). В природе небольшое количество кальция может замещаться железом, магнием, марганцем, алюминием, калием и натрием.

Целью данной работы является синтез и исследование опытных образцов волластонитовой керамики технического назначения на основе системы  $\text{CaO-SiO}_2$  с требуемыми эксплуатационными свойствами для кокильного литья алюминиевых сплавов.

Основными задачами исследования являлся анализ литературных и патентных источников в области получения указанных материалов на

основе различных систем, разработка шихтовых составов и синтез опытных образцов, исследование из физико-химических и теплофизических свойств в зависимости от исходного состава и температуры синтеза, установление особенностей структуро- и фазообразования с последующей оптимизацией полученных результатов исследований и общих выводов по работе.

Синтез материалов проводился на основе природного волластонита, в качестве пластификатора использовалась углистая огнеупорная глина. Для повышения пористости и снижения теплопроводности в состав масс вводились выгорающие компоненты угольная пыль (кокс), сапрпель.

Смесь подвергалась совместному помолу в микрошаровой мельнице до остатка на сите № 0063 не более 2 %<sup>1</sup>, далее масса увлажнялась водой до влажности 7–8 % и вылеживалась в течении 1–2 суток. Опытные образцы в виде дисков диаметром 23 мм и высотой 8–9 мм прессовались на гидравлическом прессе марки ПСУ–50 при давлении 20–25 МПа (прессование двухступенчатое). После подвергались сушке при температуре 100±5 °С в сушильном шкафу марки СНОЛ. Далее образцы обжигались в лабораторной печи типа СНОЛ 6,7/1300 при различных температурах (1100 °С, 1150 °С, 1200 °С) с подъемом температуры 5 °С/мин и выдержкой 1 ч. с последующим инерционным охлаждением в печи до комнатной температуры.

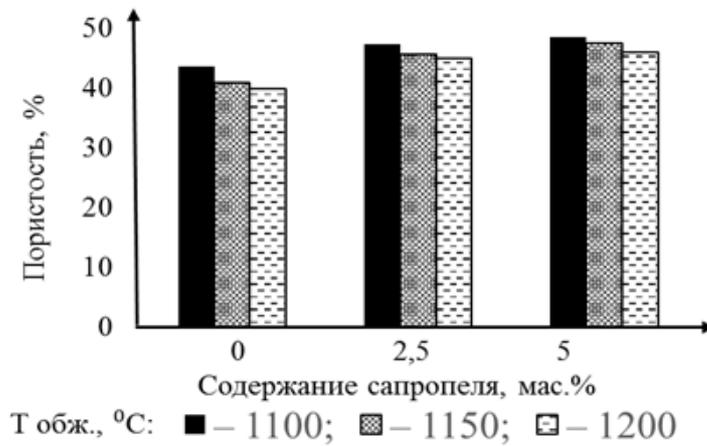
Химические составы масс опытных композиций на основе природного волластонита рассчитывались в соответствии с их рецептурой и химическими составами исходных сырьевых компонентов. При этом содержание SiO<sub>2</sub> во всей серии составов изменялось в диапазоне 50,5–51,0 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,3–7,8 %, CaO – 38,5–42,8 %/

Общая усадка образцов составила от 0,8 до 3,50 %, и увеличивалась с ростом температуры обжига. С увеличением содержания глины в массах до 20 % общая усадка повышается, что обусловлено более полным протеканием процесса спекания [3].

Показатели критериальных свойств изменяются в следующих пределах: водопоглощение – (21,1–32,4) %, открытая пористость – (35,3–48,4) %, кажущаяся плотность – (1,54–1,84) г/см<sup>3</sup>. На рисунке 1 представлена зависимость открытой пористости от содержания сапрпеля и температуры обжига.

---

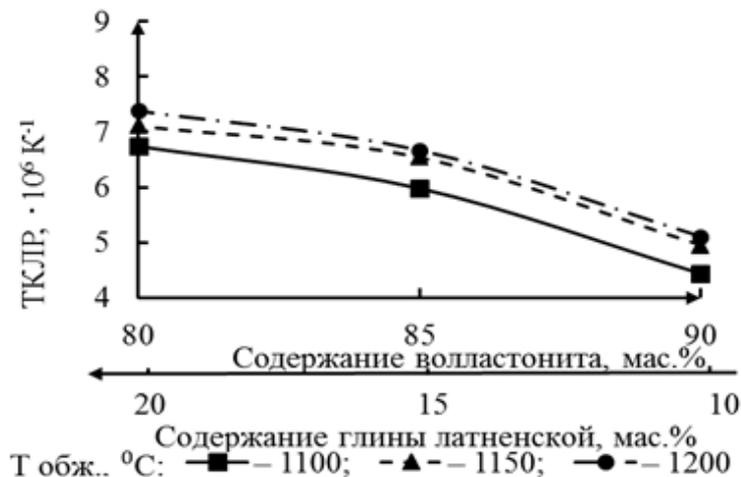
<sup>1</sup> – Здесь и далее по тексту содержание приведено в массовых %.



**Рисунок 1 – Зависимость открытой пористости от состава и температуры обжига**

Как видно на рисунке, с увеличением температуры обжига от 1100 °С до 1200 °С открытая пористость несколько снижается, что связано с интенсификацией процессов переноса вещества при спекании и увеличения количества расплава, способного к вязкому течению, в результате чего уменьшаются пористость и водопоглощение образцов, возрастает их плотность. С увеличением содержания сапропеля до 5 % пористость и водопоглощение материала повышаются.

На рисунке 2 представлена графическая зависимость температурного коэффициента линейного расширения синтезированных материалов составов № 1–3 от содержания компонентов.



**Рисунок 2 – Зависимость ТКЛР опытных образцов от состава и температуры обжига**

Уменьшение ТКЛР при изменении состава и повышении температуры обжига может быть обусловлено увеличением жидкой фазы при спекании, растворением в ней кварца, т.е. обогащением

стеклофазы кремнеземом, обладающим низким парциальным значением ТКЛР. Механическая прочность при сжатии синтезированных при 1200 °С материалов находится в пределах 32,86–36,15 МПа, при температуре 1150 °С – 27,98–34,12 МПа. Максимальные значения прочности при сжатии характерны для образцов с максимальным количеством волластонита.

Рентгенофазовый анализ опытных образцов оптимального состава 2, синтезированного при 1150 °С, свидетельствует, что основной кристаллической фазой является волластонит, а дополнительной – кварц. Микроструктура керамических образцов, размер кристаллов, форме, взаимное расположение частиц, характер поверхности исследованы с помощью метода электронной микроскопии. Исходя из результатов исследования установлено, что структура синтезированного материала равномерно зернистая, однородная, пористая. Кристаллы неизометрической игольчатой формы, с размером кристаллов 7–15 мкм.

На основании результатов эксперимента выбран оптимальный состав керамического материала, удовлетворяющий поставленным задачам, который характеризуется следующим комплексом физико-технических показателей: пористость – 40,1 %, водопоглощение – 25,1 %, кажущаяся плотность – 1660 кг/м<sup>3</sup>, ТКЛР –  $5,96 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  при температуре измерения 400 °С, механическая прочность при сжатии – 35,2 МПа, теплопроводность – 0,45 Вт/(м·К). Разработанные материалы могут быть рекомендованы в качестве термостойкого огнеприпаса для кокильного литья алюминиевых сплавов машиностроительных предприятий. Организация аналогичных изделий на отечественных предприятиях позволит отказаться или сократить дорогостоящий импорт.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Керамика из природного волластонита для литейных установок алюминиевой промышленности / Л. Н. Русанова [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. 2008. № 5. С. 39–44.
2. Бобкова, Н. М. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов / Н. М. Бобкова. – Минск: Выш. шк., 2007. – 301 с.
3. Дятлова, Е. М. Химическая технология керамики и огнеупоров: лаб. практикум / Е.М. Дятлова, В.А. Бирюк. – Минск: БГТУ, 2006. – 275 с.

УДК 666.3

Студ. Д.А. Грук

Науч. рук. ассист., к.т.н. А. Н. Шиманская  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **ПОРИСТЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ**

Важной медико-социальной задачей является скорейшая реабилитация пациента и возвращение его к полноценной жизни, для чего требуется расширение номенклатуры и повышение качества биоматериалов для имплантатов кости. В связи с этим продолжается активный поиск биосовместимых материалов и технологий изготовления имплантатов для травматологии и ортопедии, направленных на лечение травм и заболеваний костной ткани. Следует отметить, что в Республике Беларусь исследования в области получения керамических материалов медицинского назначения не проводились, производство подобного рода изделий отсутствует. В связи с этим разработка технологических основ получения биокерамических изделий позволит создать инновационную, ориентированную на экспорт продукцию, способствующую импортозамещению и развитию отечественных высоких технологий. Целью настоящей работы являлось разработка составов керамических масс для получения материалов медицинского назначения, обладающих требуемым комплексом физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик.

На основании проведенного обзора литературы на первом этапе исследований в качестве сырьевых материалов исследований выбраны следующие: диоксид циркония  $ZrO_2$  марка ЦрО 1-й сорт (ГОСТ 21907–76), гидрофосфат аммония  $(NH_4)_2HPO_4$  (чда, ГОСТ 3772–74) и мука доломитовая класса 4 марки А группы 1 ((ГОСТ 14050–93, ОАО «Доломит», Республика Беларусь). Их содержание варьировало в пределах, мас. %:  $ZrO_2$  – 60–80,  $(NH_4)_2HPO_4$  – 10–30 и мука доломитовая – 10–30.

Образцы биокерамических материалов изготавливались по технологии полусухого прессования. Предварительно подготовленные и взвешенные согласно рецепта компоненты подвергались совместному сухому помолу в планетарной шаровой мельнице РМ 100 Retsch (Ritsch, Германия) в течение 20 мин до остатка на контрольном сите № 0063 в количестве не более 1–2 мас.%. Пресс-порошок готовился путем перемешивания полученной смеси сырьевых компонентов со связующим. Образцы формовались

методом полусухого прессования в виде цилиндров диаметром 12 мм на лабораторном прессе при давлении 8–12 МПа. Сушка полуфабриката проводилась в сушильном шкафу при температуре  $100 \pm 5$  °С. Обжиг образцов производился в электрической лабораторной печи SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 при температурах  $(1250–1350) \pm 10$  °С с выдержкой при максимальной температуре – 1 ч. Скорость подъема температуры составляла 250 °С/ч.

Для определения кажущейся плотности, открытой пористости и водопоглощения использовали метод насыщения и гидростатического взвешивания (ГОСТ 2409–2014); исследование механической прочности при сжатии проводилось в соответствии с ГОСТ 40711–94. Фазовый состав материалов изучался с помощью рентгеновского дифрактометра D8 Advance фирмы Bruker (Германия), а микроструктура полученных образцов – сканирующего электронного микроскопа JSM–5610 LV с системой химического анализа EDX JED–2201 JEOL (Япония).

Синтезированные образцы серии 1 характеризуются равномерной окраской белого цвета, пористой, хорошо спеченной текстурой, значения их физико-химических свойств приведены в таблице.

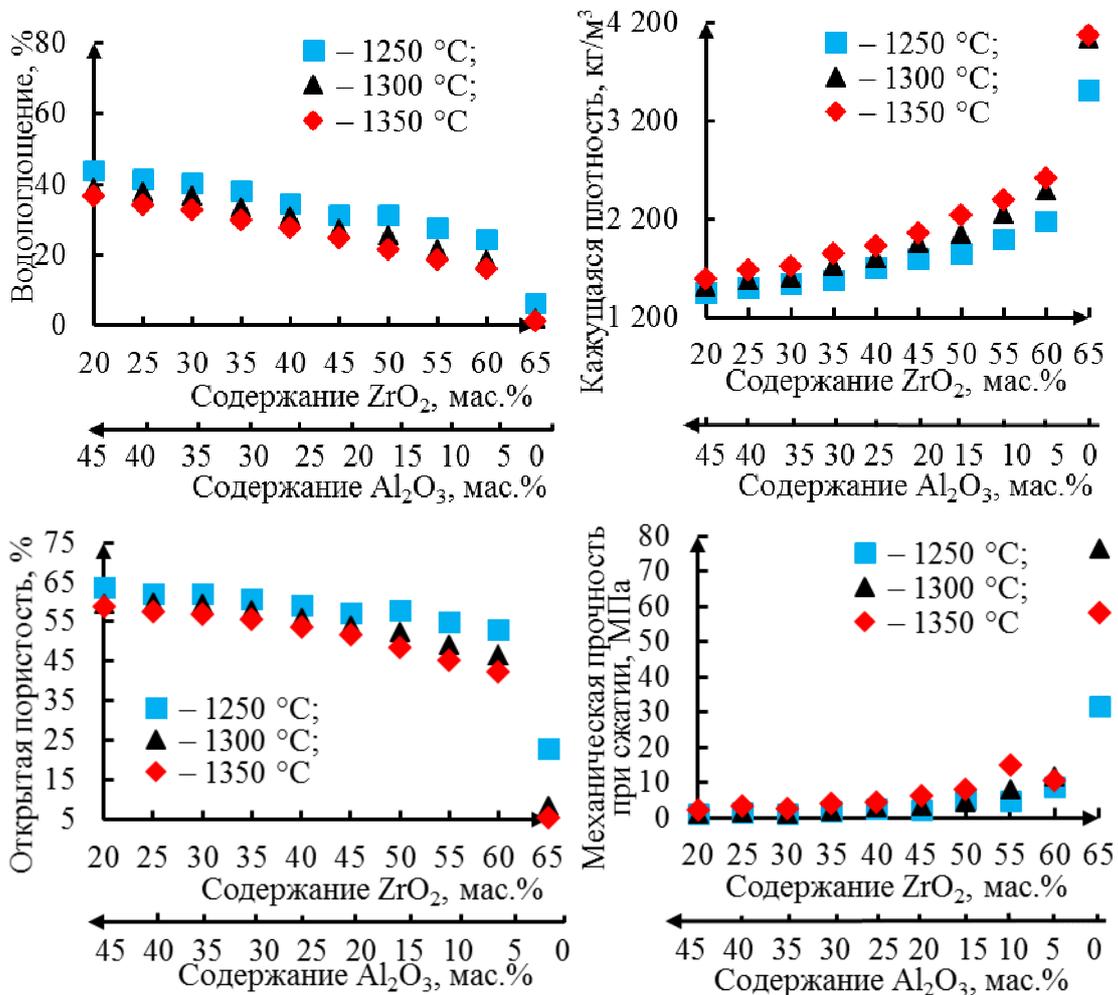
**Таблица – Физико-химические свойства полученных материалов**

Показатель	Значения физико-химических свойств образцов при термообработке, °С					
	серии 1			серии 2		
	1250	1300	1350	1250	1300	1350
Водопоглощение, %:	12,50–30,37	7,81–49,72	7,10–55,48	6,54–43,99	2,08–39,11	1,39–36,94
Открытая пористость, %	36,49–56,11	26,55–67,51	24,73–70,23	23,08–63,68	8,41–59,52	5,68–59,01
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	1843–2975	3394–1355	1263–3476	1445–3520	1519–4031	1595–4071
Механическая прочность при сжатии, МПа	3,54–33,21	7,79–34,78	6,93–39,03	1,35–31,82	1,22–76,44	2,34–58,25

Проведенные исследования показали, что при увеличении содержания доломитовой муки и гидрофосфата аммония в керамических массах серии 1 отмечается закономерное повышение значений открытой пористости и водопоглощения, а также снижение кажущейся плотности и механической прочности при сжатии полученных образцов биокерамики. Поскольку имплантаты, как показал анализ литературы, должны обладать одновременно высокой прочностью и пористостью, на основании проведенных исследований в качестве оптимального выбран состав, который включает ZrO<sub>2</sub> – 65 мас.%, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 20 мас.% и муку доломитовую – 15 мас.% и в температурном интервале обжига 1250–1350 °С обладает следующим комплексом физико-химических свойств: водопоглощение 12,50–16,28 %; открытая пористость 24,73–44,30 %;

кажущаяся плотность 2716–3477 кг/м<sup>3</sup>; механическая прочность при сжатии – 29,18–39,03 МПа.

На втором этапе исследования диоксид циркония частично заменен на оксид алюминия (чда, ТУ 6-09-426-75) в составе сырьевой композиции оптимального состава серии 1, поскольку в последнее время многими исследователями отмечается перспективность получения биокерамических материалов из смеси Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZrO<sub>2</sub>. Кроме того, вместо доломитовой муки применялись химические реактивы CaCO<sub>3</sub> (хч, ГОСТ 4530-76) и MgCO<sub>3</sub> (чда, ГОСТ 6419-78), так как они содержат меньшее количество примесей. Результаты определения физико-химических свойств полученных изделий (таблица, рисунок 1) свидетельствуют о том, что в заданном температурном интервале обжига образцов серии 2 добавки оксида алюминия оказывают негативное влияние на физико-химические свойства.



**Рисунок 1 – Графики зависимостей физико-химических свойств синтезированных образцов от соотношения диоксида циркония и оксида алюминия в составе керамической массы**

В частности, вызывают снижение механической прочности при сжатии, кажущейся плотности, повышение водопоглощения изделий и открытой пористости. По нашему мнению, это объясняется недостаточно высокими температурами обжига для спекания  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Рентгенофазовый анализ позволил установить присутствие двух кристаллических фаз: бадделеита ( $\text{ZrO}_2$ ), фосфата кальция и магния ( $(\text{Ca}_{2,589}\text{Mg}_{0,411})(\text{PO}_4)_2$ ) в материалах серии 1, а также бадделеита, корунда ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и фосфата кальция и магния в биокерамике серии 2. Результаты исследования с использованием сканирующей электронной микроскопии показали, что поверхность материала состоит, преимущественно, из кристаллов диоксида циркония, микрондовый анализ подтвердил присутствие  $(\text{Ca}_{2,589}\text{Mg}_{0,411})(\text{PO}_4)_2$ . Выявлено, что использование в качестве порообразующей добавки доломитовой муки, в отличие от гидрофосфата аммония, приводит к образованию мелких пор размером до 10 мкм, что затрудняет прорастание костной ткани в имплантат.

На основании проведенных исследований в качестве оптимального выбран состав, содержащий компоненты в следующем соотношении, мас. %: карбонат кальция – 9,5; карбонат магния – 5,5; диоксид циркония – 65; гидрофосфат аммония – 20. Полученные образцы в температурном интервале термообработки 1250–1350 °С обладают следующими физико-химическими свойствами: водопоглощение – 1,39–16,26 %; открытая пористость – 5,68–23,08 %; кажущаяся плотность – 3520–4071 кг/м<sup>3</sup>; механическая прочность при сжатии – 31,82–76,44 МПа. Фазовый состав представлен диоксидом циркония ( $\text{ZrO}_2$ ) с кристаллической решеткой кубической формы размером 5–10 мкм и фосфатом кальция и магния ( $(\text{Ca}_{2,589}\text{Mg}_{0,411})(\text{PO}_4)_2$ ) (рисунок 2).

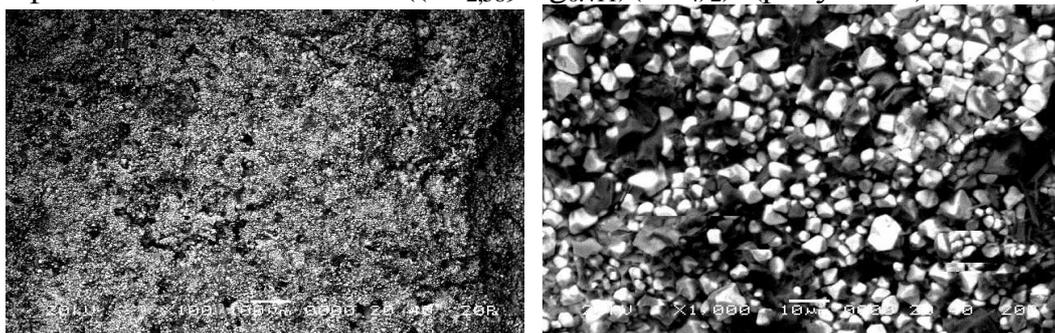


Рисунок 2 – Электронно-микроскопические снимки биоматериала оптимального состава при температуре обжига 1350 °С

Наличие развитой пористой структуры материала оптимального состава с размером пор 50–100 мкм, а также кристаллов фосфата кальция и магния, мольное соотношения элементов Са : Р, в котором составляет 1,3, свидетельствует о возможности прорастания костной ткани в имплантат и биоактивности керамики.

УДК 666.3-13

Студ. Е.М. Никадон

Науч. рук. ассист., к.т.н. А. Н. Шиманская  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК $TiO_2$ , $CrO_3$ , $CeO_2$ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТИЙАЛЮМОСИЛИКАТНОЙ ТЕРМОСТОЙКОЙ**

Керамические изделия, изготовленные на основе системы  $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$ , характеризуются низкими показателями термического расширения в широком температурном интервале и могут выдерживать без разрушения резкие изменения температуры, поэтому они используются для изготовления деталей дугогасительных камер, корпусов реостатов, защитных чехлов для термодпар и деталей термостатов, а также посуды, форм для выпечки и другой электроаппаратуры; для футеровки индукционных и других печей. Кроме того, благодаря химической стойкости литиевая керамика применяется для получения изделий, предназначенных для эксплуатации в атомных реакторах и реактивных двигателях, а также втулок для сопел и лопастей турбин [1]. Однако основным недостатком алюмосиликатов лития является анизотропия температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), приводящая к возникновению напряжений 2-ого рода в материале и его термическому разрушению. В связи с этим перспективным является изучение возможности получения литиевой керамики со стабильными значениями ТКЛР за счет использования различных минерализаторов. Следует отметить, что рядом исследователей для улучшения физико-химических свойств литийалюмосиликатных материалов установлена возможность использования следующих добавок:  $Ta_2O_5$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $FeO$ ,  $GeO_2$ ,  $La_2O_3$ ,  $CeO_2$ ,  $GeO$ ,  $BaCO_3$ , апатитовый концентрат [2–4].

Целью настоящего исследования является изучение влияния добавок  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $CeO_2$  на физико-химические свойства, особенности формирования структуры и фазового состава термостойких материалов в системе  $Li_2O - Al_2O_3 - SiO_2$ . В качестве сырьевых материалов использовалась огнеупорная глина, каолин, карбонат лития и песок кварцевый. Пределы содержания компонентов подбирались таким образом, чтобы соотношение оксидов  $Li_2O$ ,  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  соответствовало области кристаллизации сподумена. Оксиды титана (IV), хрома (III) и церия (IV) вводились в количестве 1,5 и 3,0 мас.% сверх 100 %.

Образцы термостойкой керамики изготавливались по технологии полусухого прессования со шликерной подготовкой массы, формовались методом полусухого прессования в виде плиток

(50×50×5) мм на лабораторном прессе GTGabTecSRL (Италия) при давлении 8–12 МПа. Сушка полуфабриката проводилась в сушильном шкафу при температуре 100±5 °С. Обжиг образцов производился в электрической лабораторной печи SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 (Литва) при (1175–1250)±10 °С с выдержкой при максимальной температуре – 1 ч. Скорость подъема температуры составляла 250 °С/ч.

Экспериментальное исследование включало определение кажущейся плотности и водопоглощения методом насыщения и гидростатического взвешивания (ГОСТ 2409–2014), ТКЛР (ГОСТ 27180–2001), механической прочности при изгибе (ГОСТ 8462–85). Термостойкость определялась последовательным нагреванием и охлаждением испытываемых изделий согласно ТУ РБ 02071837-002-96. Микроструктура образцов исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM–5610 LV с системой химического анализа EDX JED–2201 JEOL (Япония). Для определения вида и состава кристаллических фаз использовался дифрактомер ДРОН-2.

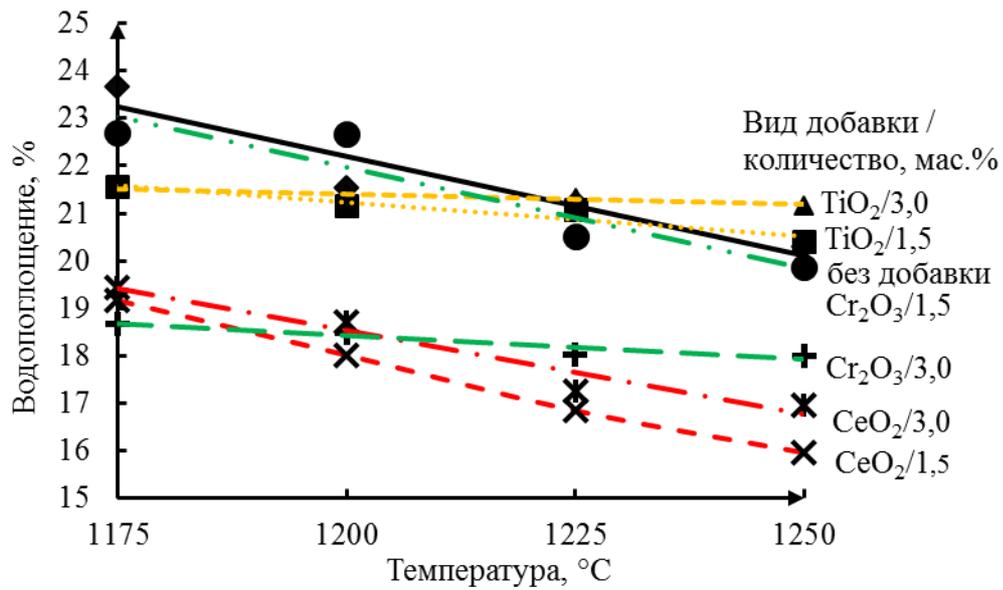
Как показали проведенные исследования, цвет синтезированных изделий зависит как от количества вводимой добавки, так и от температуры обжига. Так, составы с добавкой 1,5 и 3,0 мас.% TiO<sub>2</sub> характеризуются светло-желтым и насыщенный желтым оттенком соответственно; CeO<sub>2</sub> придает изделиям ярко-оранжевый цвет, а Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – темно-зеленый, причем интенсивность окраски увеличивается с повышением температуры термообработки.

Установлено, что применение указанных добавок позволило снизить водопоглощение образцов термостойкой керамики до 15,95–22,70 %, повысить кажущуюся плотность до 1510–1698 кг/м<sup>3</sup> и механическую прочность при изгибе до 98,23–208,52 МПа (рисунок 1). Оптимальными значениями температурного коэффициента линейного расширения, стабильными в температурном интервале обжига – 1175–1250 °С, обладают образцы с добавками диоксида титана – 1,5 и 3,0 мас.%. Синтезированные образцы литийалюмосиликатной керамики выдержали 50 термоциклов (15–800) °С без появления дефектов.

С помощью рентгенофазового анализа установлено наличие таких кристаллических фаз, как β-сподумен (LiAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), алюмосиликат лития (Li<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>), β-кварц (β-SiO<sub>2</sub>), а также кристаллов Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> и CeO в зависимости от используемой добавки. Причем количество β-сподумена возрастает с повышением температуры за счет перекристаллизации алюмосиликата лития Li<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>. Следует отметить, что добавка диоксида титана, в отличие от оксида хрома (III) и диоксида церия, способствует полной перекристаллизации Li<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub> с образованием β-сподумена при 1225–1250 °С. Микроструктура материала имеет вид

спекшегося стеклокристаллического массива без четко выраженных границ зерен и характеризуется присутствием значительного количества пор различной конфигурации, размер которых составляет от 10 до 50 мкм (рисунок 2). Установлено, что при введении добавок диоксидов церия и титана, а также оксида хрома (III) наблюдается уменьшение размера пор в синтезированных материалах.

а)



б)

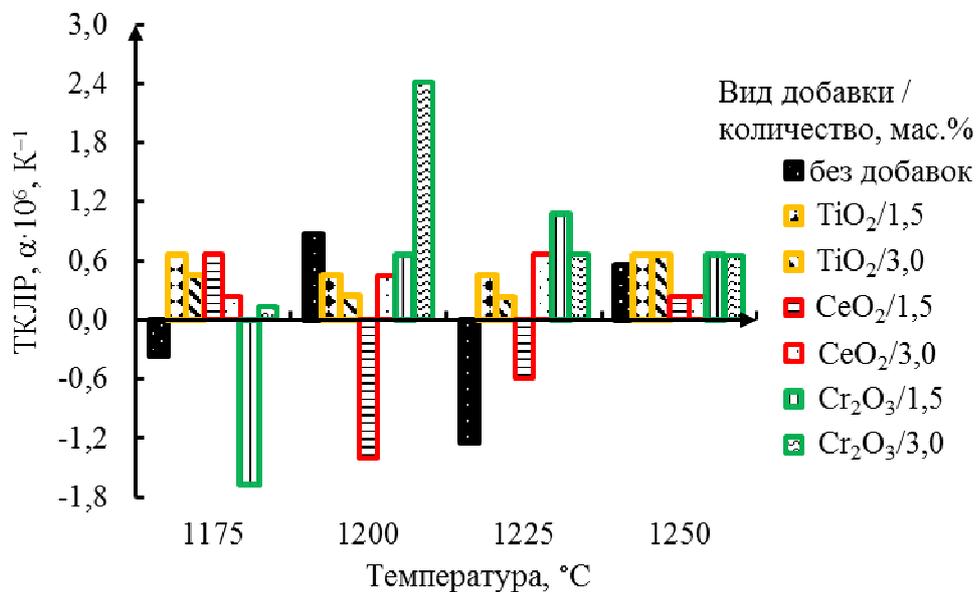
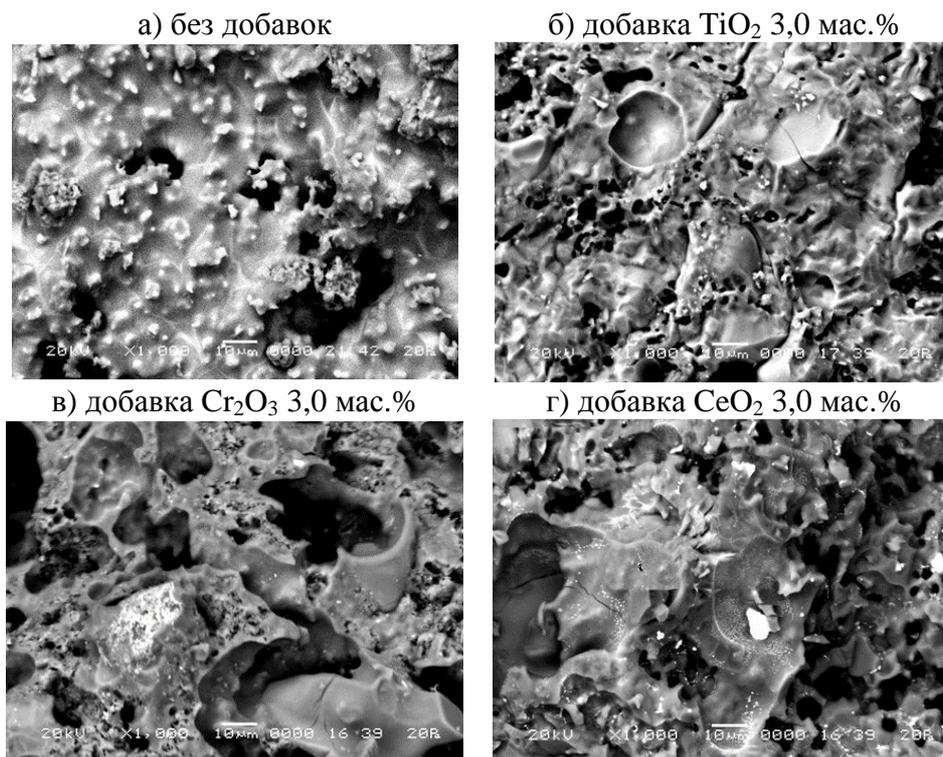


Рисунок 1 – Зависимость водопоглощения (а) и ТКЛР (б) образцов термостойкой керамики от температуры обжига



**Рисунок 2 – Электронно-микроскопические изображения поверхности полученных образцов ( $T_{\text{обж.}} - 1225^\circ\text{C}$ )**

Таким образом, в проведенных экспериментальных исследованиях показана эффективность применения добавки диоксида титана в количестве 3,0 мас. % сверх 100 % для получения термостойкого материала со стабильными значениями ТКЛР.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бобкова, Н. М. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов / Н.М. Бобкова. – Минск: Выш. шк., 2007. – 301 с.
2. Ultra-low-expansion ceramic pot and manufacturing method thereof: application CN102515730B China: IPC C04B 35/16 (2006.01), C04B 35/622 (2006.01) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/CN102515730B/en>. – Дата доступа: 10.11.2018.
3. Low expansion ceramic and manufacturing process thereof: application CN88100211A China: IPC C04B 35/16 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/CN88100211A/en>. – Дата доступа: 10.11.2018.
4. Кичкайло, О.В. Интенсификация спекания термостойкой керамики на основе системы  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  / О.В. Кичкайло, И.А. Левицкий // Огнеупоры и техническая керамика. – 2015. – № 10. – С. 3–13.

УДК 666.295

Студ. М.С. Соколовская

Науч. рук. асс., к.т.н. А. Н. Шиманская  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **НЕФРИТТОВАННЫЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ ГЛАЗУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКОГО ГРАНИТА**

В последнее время керамогранит, декорированный металлизированными покрытиями, становится чрезвычайно популярным [1]. Следует отметить, что на предприятиях Республики Беларусь используются металлизированные глазури, импортируемые из Испании. Кроме того, ввиду скоростных режимов термообработки керамических плиток для их декорирования чаще всего используются фриттованные или полуфриттованные глазурные композиции, требующие предварительного сплавления компонентов шихты при относительно высоких температурах – 1450–1500 °С.

В связи с этим актуальной задачей является разработка составов нефриттованных металлизированных покрытий, включающих отечественные сырьевые материалы, что позволит не только снизить себестоимость производства керамического гранита, но и обеспечит импортозамещение.

Сырьевая композиция для получения металлизированных глазурей включала, мас. %:

– серия 1: оксид меди (II) – 7,5–17,5; оксид кобальта (III) – 7,5–17,5; доломитовую муку – 5,0–25,0; легкоплавкую глину – 40,0–60,0; кварцевый песок – 5–15; каолин – 5–15;

– серия 2: оксид меди (II) – 12,5–22,5; доломитовую муку – 20,0–30,0; легкоплавкую глину – 37,5–47,5; кварцевый песок – 5–15; каолин – 5–15.

Глазурный шликер готовился совместным мокрым помолом сырьевых компонентов в шаровой мельнице (Speedy, Италия) до остатка на сите № 0063 в количестве 0,1–0,3 мас.% при соотношении материал : мелющие тела : вода, составляющим 1:1,5:0,7. Полученная суспензия влажностью 39±1 мас.% наносилась на высушенный до влажности не более 0,5 мас.% и покрытый ангобом полуфабрикат керамогранита. Заглазурованные опытными составами образцы подвергались обжигу в газопламенной печи типа FMS-2500 (Италия) и РКК 250/63 при температуре 1185–1200 °С в течение 46–50 мин в производственных условиях ОАО «Керамин» (г. Минск, Республика Беларусь) и ОАО «Березастройматериалы» (г. Береза, Республика Беларусь).

Значения физико-химических свойств и декоративно-

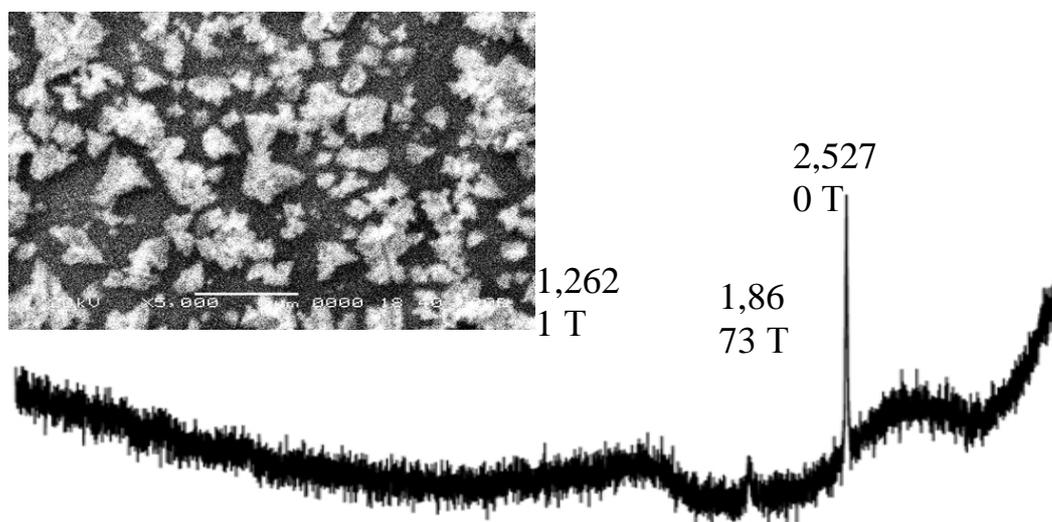
эстетических характеристик глазурных покрытий определялись согласно методикам ГОСТ 27180–2001 (таблица).

**Таблица – Сравнительная характеристика физико-химических свойств и декоративно-эстетических характеристик синтезированных глазурей**

Показатели	Значения показателей для глазурей серии	
	1	2
Цвет покрытий	Черный с эффектом металлизации	Темно-серый с эффектом металлизации
Фактура поверхности	Матовая, полуматовая, блестящая	Матовая, полуматовая, блестящая
Блеск, %	15–100	40–100
Микротвердость, МПа	6100–7000	5100–7500
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-7}, K^{-1}$	54,9–65,9	65,9–73,4
Термостойкость, °С	150–200	150–200
Химическая стойкость	Химически стойкие	Химически стойкие
Степень износостойкости	1	2

Как видно из таблицы, синтезированные глазурные покрытия отвечают требованиям стандарта ГОСТ 6787–2001 по физико-химическим свойствам и декоративно-эстетическим характеристикам.

Фазовый состав глазурей серии 1 представлен теноритом (CuO), кристаллы которого размером 1–10 мкм равномерно распределены по всей поверхности глазури (рисунок 1). Превалирующей фазой является стекловидная.

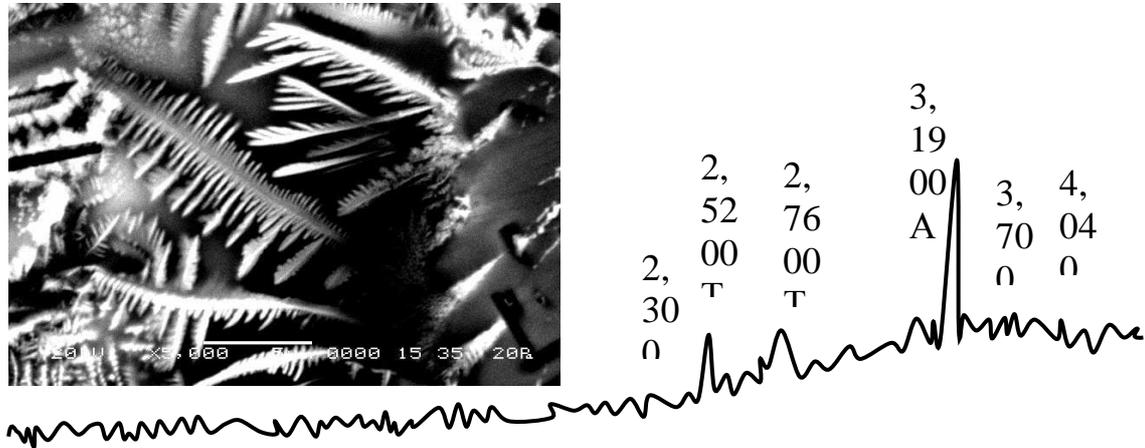


T – тенорит

Межплоскостные расстояния приведены в Å

**Рисунок 1 – Фазовый состав и структура глазурного покрытия оптимального состава серии 1**

В глазурных покрытиях серии 2 идентифицируются тенорит и анортит ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) (рисунок 2). Благодаря присутствию анортита обеспечиваются относительно высокая степень износостойкости данных глазурей, равная 2.

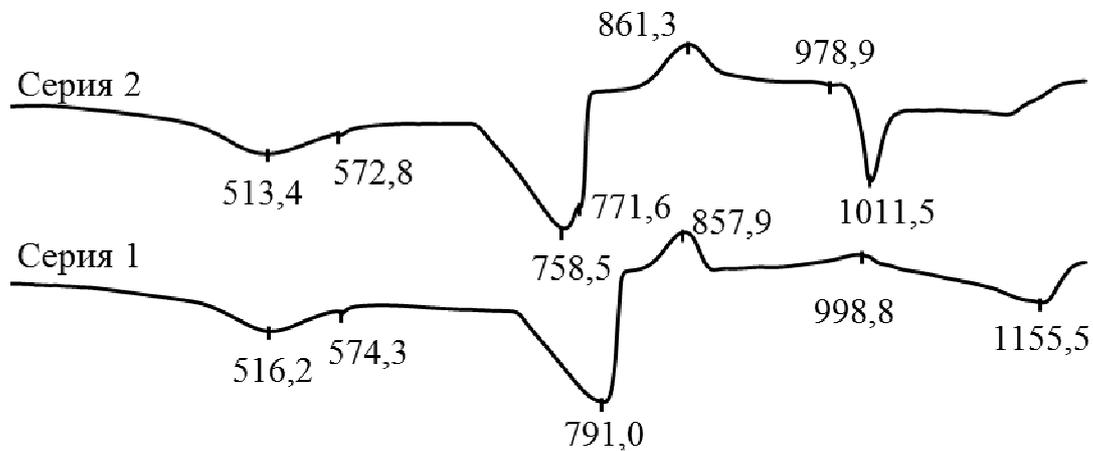


Т – тенорит, А – анортит

Межплоскостные расстояния приведены в Å

**Рисунок 2 – Фазовый состав и структура глазурного покрытия оптимального состава серии 2**

По данным исследования фазовых превращений в глазурных массах фиксируется ряд термических эффектов (рисунок 3).



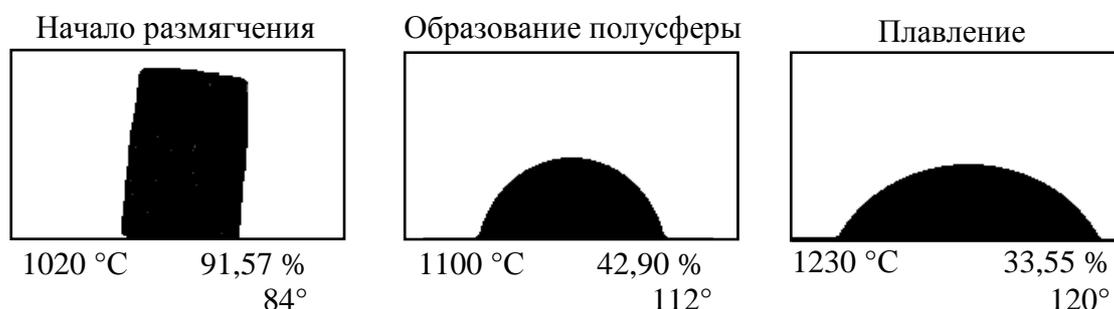
Температуры приведены в °С

**Рисунок 3 – Диаграммы дифференциально-сканирующей калориметрии глазурных шихт серий 1 и 2**

Эндотермические эффекты, наблюдающиеся при температурах 513,4–516,2 °С и 572,8–574,3 °С обусловлены потерей каолинитом кристаллизационной воды и переходом низкотемпературного β-кварца в α-кварц соответственно. Разложение карбоната магния, входящего в состав доломитовой муки, фиксируется эндоэффектом при 758,5–791,0 °С. В температурном интервале 850–1010 °С

наблюдаются экзотермические эффекты, свидетельствующий, очевидно, об процессах образования кристаллических фаз. Эндотермические эффекты при 978,9–998,8 °С характеризуют разложение кальциевой составляющей доломитовой муки. Плавление компонентов глазурной композиции наблюдается при 1011,5–1155,5 °С. Как видно из рисунка 3, плавление глазурей серии 1 происходит при температурах на 130–140 °С выше по сравнению с 2, что обусловлено присутствием в их составах оксида кобальта (III).

Получение равного и гладкого глазурного покрытия определяется процессом растекания его по керамической поверхности, который зависит от таких физических свойств, как плавкость, вязкость, поверхностное натяжение и смачивающая способность. Мерой смачивающей способности глазурного расплава служит краевой угол смачивания, с увеличением значения которого смачивание поверхности расплавом ухудшается. Изучение смачиваемости керамической основы расплавом глазури проводилось на нагревательном микроскопе Misura 3.0. Результаты плавкости представлены на рисунке 4. Процесс наплавления глазурного покрытия на керамическую основу происходит в три стадии: начало размягчения, образование полусферы и плавление. Отсутствие стадии сферообразования обуславливает высокое качество разлива и прочное сцепление глазури с керамической основой.



**Рисунок 4 – Результаты определения плавкости и краевого угла смачивания глазури оптимального состава серии 2**

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны составы нефритованных металлизированных глазурных покрытий для керамического гранита в системах  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Co}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{CuO} - \text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{CuO} - \text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pekkan K. Development of gold-bronze metallic glazes in a clay-based system for stoneware bodies / K. Pekkan, H. Başkırkan, M. Çakı // *Ceramics International*. – 2018. – Vol. 44, Iss. 5. – P. 4789–4794.

УДК 666.266.6

Студ. Э.Л. Купрацевич

Науч. рук. доц. Папко Л.Ф.

(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИТАЛЛОЦЕМЕНТОВ**

Ситаллоцементы – стеклокристаллические материалы, которые используются для создания плотных спаев в электронной и вакуумной технике, формирования покрытий различного назначения на стеклянных, керамических и металлических подложках. Температура обжига (спаивания), вязкость, температура кристаллизации и температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) являются наиболее важными показателями, определяющими конкретные области применения ситаллоцементов. В настоящее время имеется потребность в материалах для спаивания и герметизации твердооксидных топливных элементов, которые применяются для изготовления высокоэффективных и экологичных энергетических установок [1, 2].

Материалы для герметизации топливных элементов должны обеспечивать согласование по термическим свойствам со спаиваемыми материалами – циркониевой керамикой и жаростойким металлом, что достигается при показателях ТКЛР от  $9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  до  $10,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Рабочая температура элементов достигает  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура спаивания не должна превышать  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ . По результатам исследования стекол ряда стеклообразующих систем установлена возможность разработки высокотемпературный ситаллоцементов на основе системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  [2, 3].

Целью настоящей работы является разработка составов ситаллоцементов, предназначенных для получения высокотемпературных спаев с ТКЛР в пределах  $(9-10) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , на основе системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ .

Составы опытных стекол включают, мол. %:  $\text{SiO}_2$  50–52,  $\text{Na}_2\text{O}$  11–14,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3–7,  $\text{MgO}+\text{CaO}$  25–30 при различном соотношении данных компонентов. В качестве добавок вводились  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Варку стекол осуществляли в корундовых тиглях при температуре  $1450 \text{ }^\circ\text{C}$  в газовой печи периодического действия при скорости подъема температуры  $250 \text{ }^\circ\text{C}/\text{ч}$  с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Кристаллизационная способность синтезированных стекол определялась по данным термической обработки в электропечи в интервале температур  $600-1100 \text{ }^\circ\text{C}$  с выдержкой 1 ч. Для монолитных образцов опытных стекол характерна поверхностная кристаллизация.

Термический анализ проводился методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) с использованием измерительного блока DSC 404 F3 Regasus в интервале температур 20–1100 °С при скорости нагрева 10 °С/мин. На рисунке 1 приведена характерная термограмма стекла, в составе которого молярное соотношение MgO и CaO составляет 1:1. На термограммах опытных стекол имеются

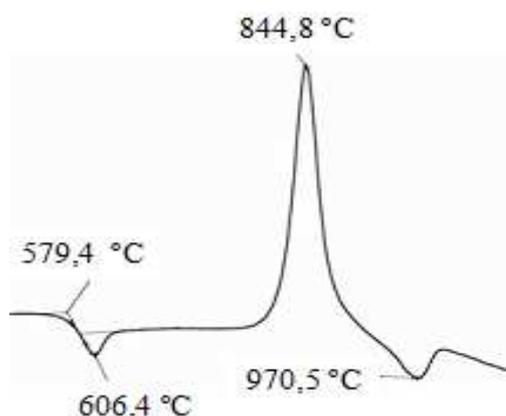


Рисунок 1 – Термограмма стекла системы Na<sub>2</sub>O–MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>

выраженные экзоэффекты, интенсивность которых возрастает с ростом содержания оксида кальция в их составе. По результатам термического анализа определены показатели температур, которые являются важной характеристикой ситаллоцементов: температуры стеклования T<sub>g</sub>, которая должна быть меньше рабочей температуры элемента, температуры размягчения стекла T<sub>s</sub>, температуры кристаллизации T<sub>c</sub> (таблица).

Использование для получения спаев порошка стекла с размерами зерен менее 40 мкм интенсифицирует процесс кристаллизации и обеспечивает ее объемный характер.

Таблица – Температуры термических эффектов на кривых ДСК

Номер состава	Температура, °С			
	стеклования T <sub>g</sub>	начала размягчения T <sub>s</sub>	начала кристаллизации	максимума экзоэффекта T <sub>c</sub>
1	592,0	617,4	800,0	867,8
2	578,3	604,3	884,3	885,2
3	606,5	634,0	790,0	863,3
4	612,7	637,5	810,0	845,0
5	642,1	668,2	879,0	881,7
6	609,2	634,9	836,2	837,8
7	579,4	606,4	839,4	844,8

Согласно данным рентгенофазового анализа в качестве кристаллических фаз при термической обработке порошков стекол системы Na<sub>2</sub>O–MgO–CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> выделяются диопсид MgCa[Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] и нефелин Na[Si<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>8</sub>].

Дилатометрические кривые стекол и стеклокристаллических материалов снимали на электронном дилатометре DIL 402 PC фирмы «Netzsch» в интервале температур 20–400 °С. Для исследования

ситаллоцементов методом дилатометрии сформованные из порошков стекол образцы обжигали при температуре 1070 °С с выдержкой 15 мин. Показатели ТКЛР опытных стекол системы Na<sub>2</sub>O–MgO–CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> составляли (8,4–9,1)·10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>. Кристаллизация стекла обуславливает повышение показателей ТКЛР, которые составляют (9,5–10,8) ·10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>. Ситаллоцементы ряда составов имеют заданные показатели ТКЛР в интервале значений (9–10)·10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>. На рисунке 2 представлены дилатометрические кривые спаиваемых материалов в интервале температур 50–400 °С, которые отвечают условиям их согласования по показателям термического расширения.

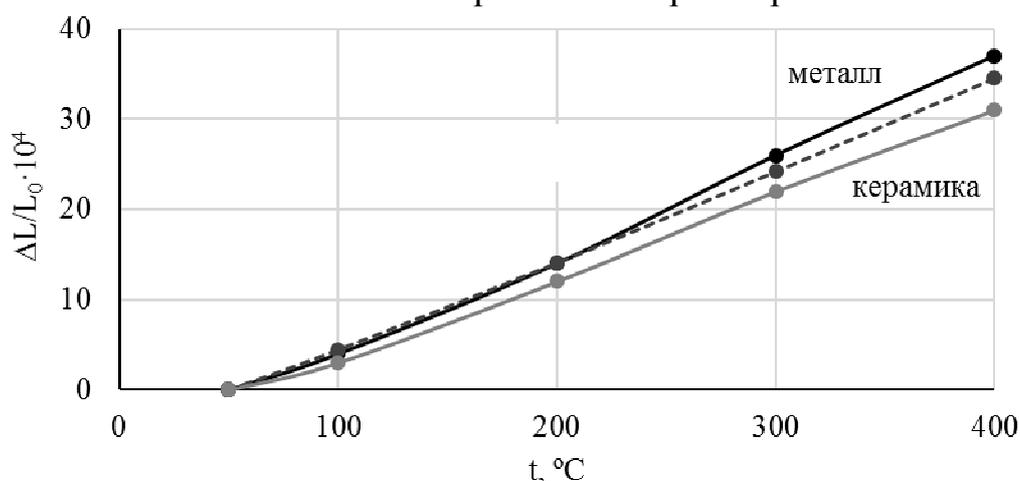


Рисунок 2 – Дилатометрические кривые спаиваемых материалов

В результате проведенных исследований разработаны высокотемпературные ситаллоцементы, обеспечивающие формирование плотного спая при температуре обжига 1070 °С. Характеристики ситаллоцемента оптимального состава: ТКЛР в интервале температур 20–400 °С составляет 9,5·10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>, температура максимума кристаллизации 840 °С, температура размягчения 860 °С.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Höland W. Glass-ceramic technology / W. Höland, H.V. George. – Hoboken, New Jersey, 2012. – 414 p.
2. Gurbinder K. Solid Oxide Fuel Cell Components. Interfacial Compatibility of SOFC Glass Seals. – Springer International Publishing Switzerland, 2016. – 408 p.
3. Папко Л. Ф. Высокотемпературные стеклогерметики для твердооксидных топливных элементов / Л. Ф. Папко, М. В. Дяденко, А. В. Кузьмин, Н. М. Поротникова // Труды БГТУ. Сер. 2. – 2018. – №. 2. – С. 94–99.

УДК 666.635:666.295

Студ. Д.С. Подгорнов

Науч. рук. проф. И.А. Левицкий

(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **ГЛАЗУРЬ ДЛЯ САНИТАРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Целью работы является синтез нефриттованной глазури, предназначенной для декорирования санитарных керамических изделий, получаемых однократным обжигом из полуфарфоровых масс, с целью исключения из состава компонентов 2-го класса опасности – карбоната бария и оксида цинка.

Синтез нефриттованной глазури производился на основе поликомпонентной сырьевой смеси, включающей, мас. %: кварцевый песок марки ВС-030-1 (Беларусь) в количестве 5,0–25,0; мел марки ММС-2 (Россия) – 5,0–17,5; пегматит FS-700 (Россия) – 37,5–45,0. В качестве постоянных составляющих массы использовались следующие компоненты: глина огнеупорная «Веско-Гранитик», тальк онотский марки МТ 10-99К МИТОЛ (Россия), циркобит марки МО (Италия), волластонитовый концентрат KRMP 605982 (Россия) и каолин просяновский мокрого обогащения КН-83 (Украина) в примерно одинаковых количествах при общем содержании, составляющем 30 мас. %.

Сырьевые компоненты подвергались мокрому помолу в микрошаровой мельнице (Speedy, Италия) до остатка на сите № 0045 в количестве не более 0,5 % при влажности 35–40 %. Высушенные образцы фарфоровых изделий покрывались методом полива и обжигались в промышленной туннельной печи открытого пламени с автоматическим регулированием на печных вагонетках с канализированным подом при температуре  $1200 \pm 10^\circ\text{C}$  в течении 24 ч. Все покрытия характеризовались качественным равномерным блестящим покрытием с высокой растекаемостью, блеском, белизной, разливом и заглушенностью глазурного слоя.

Полученные глазурные покрытия характеризуются отсутствием поверхностных дефектов, в особенности наколов, вызванных процессами дегидратации и декарбонизации компонентов сырьевой композиции глазурного слоя и керамического черепка.

Блеск и белизна покрытий определялись на фотоэлектрическом блескомере ФБ-2 с использованием в качестве эталона черного увиолевого стекла при определении блеска, белизны – баритовой пластинки.

Белизна покрытий составляет 87–94 %, блеск – 64–73 %.

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных глазурей измерялся на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы «Netzsch» (ФРГ) в интервале температур 20–400 °С при постоянной скорости нагрева образцов в печи, составляющей 5 °С/мин. ТКЛР синтезированных покрытий находился в интервале значений  $(58,43 - 63,76) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

Микротвердость глазурей определялась на приборе Wolpert Wilson Instruments (Германия) при нагрузке на индентор 200 г с обработкой данных с помощью фотоэлектронного микрометра. Микротвердость покрытий составляла 4177–5945 МПа.

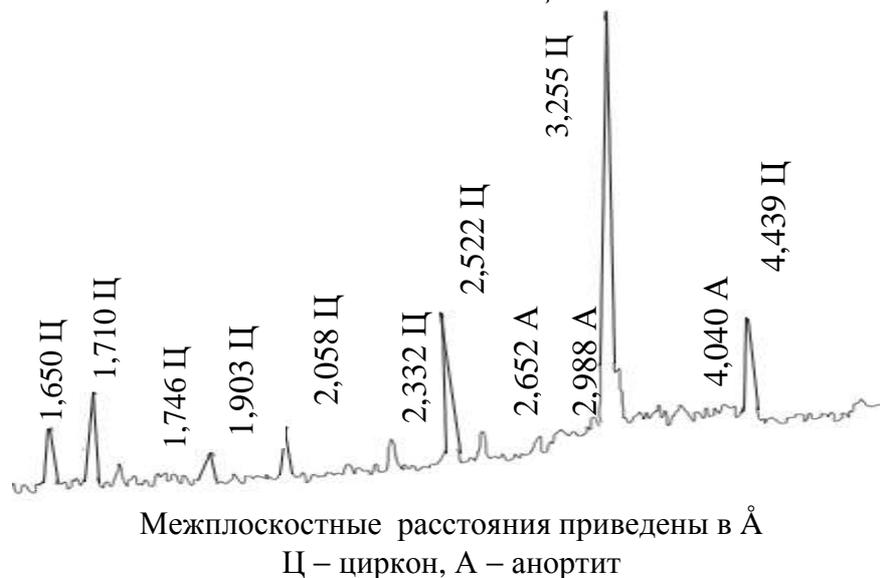
Термостойкость образцов исследовалась двукратным кипячением в течение 3 ч при температуре  $110 \pm 3$  °С в 50 % растворе хлорида кальция с последующим охлаждением изделий до  $(3 \pm 1)$  °С. После остывания образцы извлекались и погружались на 1 ч в сосуд с раствором фуксина, затем вынимались, протирались мягкой тканью и осматривались.

Если в результате осмотра на глазурованных поверхностях всех трех образцов не обнаруживалось трещин, посечек и прочих повреждений, то проверка повторялась путем погружения образцов после их кипячения и охлаждения в течение 2 ч в растворе фуксина. Все покрытия оказались термически стойкими.

Химическая устойчивость глазурных покрытий определялась путем выдержки образцов в течение 1 ч параллельно в трех растворах: в 20 % растворе серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), 20 % растворе соляной кислоты ( $\text{HCl}$ ) и 5 % растворе щелочи ( $\text{KOH}$ ). Затем образцы вынимались из растворов, промывались водопроводной водой и осматривались без применения увеличительных приборов. Все глазурные покрытия оказались химически стойкими.

Рентгенограммы синтезированных материалов снимались на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE фирмы «Bruker» (Германия). Излучение –  $\text{CuK}\alpha$ , детектор – сцинтиляционный счетчик. Запись производилась в диапазоне углов  $2\theta$  – от 5 до 80° с шагом 0,1° и накоплением импульсов в шаге в течении 2 с. Для идентификации кристаллических фаз использовались международная картотека Joint Comite on Powder Diffraction Standarts и программное обеспечение DIF-FRAC PLUS фирмы «Bruker».

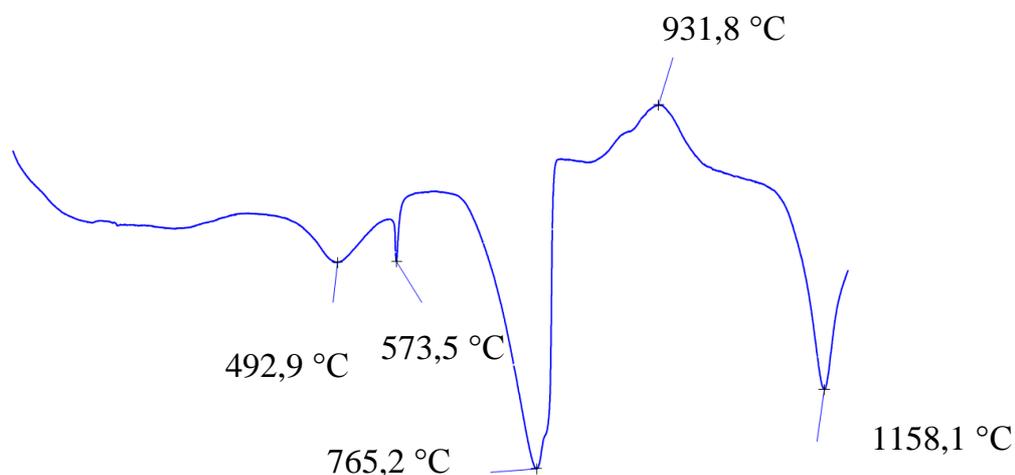
Рентгенофазовым анализом установлено, что достаточная степень глушения обусловлена преобладающим присутствием циркона ( $\text{ZrSiO}_4$ ). Также кристаллизуются в незначительном количестве анортит  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Дифрактограмма глазурного покрытия оптимального состава**

Разработанные глазурные покрытия по сравнению с производственными обладают более высокими показателями: белизна повышена на 3–5%, блеск – на 2–6 %.

Дифференциально-сканирующей колориметрией на приборе DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsch (Германия) установлены фазовые переходы, наблюдаемые в глазурных покрытиях (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Кривая ДСК глазурного покрытия состава 21**

Эндотермический эффект с минимумом при 492,9 °C связан с удалением структурной воды из глинистых минералов. С повышением температуры на кривой ДСК отмечается эндотермический эффект при 573,5 °C, связанный с выделением конституционной воды и частичной перестройкой структуры каолинита, а также наложением эндоэффекта, обусловленного модификационным переходом из β-

кварца в  $\alpha$ -кварц. При температуре 765,2 °С отмечается эндотермический эффект, обусловленный разложением карбонатов, в частности мела, присутствующего в составах глазурных шихт. Экзотермический эффект при температуре 931,8 °С показывает, что при данной температуре может происходить частичная кристаллизация покрытия. Эндотермический эффект при температуре 1158,1 °С связан с процессом плавления глазурной шихты.

Косвенная оценка вязкости глазури осуществлялась путем определения длины растекания глазурного расплава при нагревании до 1200 °С. Эталоном служила глазурь промышленного состава, используемая на ОАО «Керамин», для которой эта длина составляет 35–45 мм.

Результаты измерений свидетельствуют о соответствии синтезированных составов требованиям, предъявляемым к покрытиям для санитарных керамических изделий.

Установлено, что полученные глазури представляют собой гетерофазные стеклокристаллические системы, интенсивная заглуженность которых в процессе однократного обжига обеспечивается реликтовыми изометричными зернами циркона с размером 1,0–1,5 мкм и игольчатыми кристаллами волластонита длиной до 20 мкм, наличием в стекловидной фазе участков ликвационного характера, а также присутствием газовой фазы. Микрогетерогенность структуры обуславливает высокую термическую стойкость покрытий за счет релаксации возникающих напряжений, а значения микротвердости возрастают вследствие наличия кристаллической фазы.

Следует сделать вывод, что повышению блеска глазурных покрытий способствует увеличение содержания оксидов щелочных металлов, которые вводятся пегматитом. Это обусловлено тем, что пегматит способствует лучшему растеканию и плавлению глазури, а, следовательно, и образованию блестящей поверхности.

Сравнение декоративно-эстетических характеристик и физико-химических свойств синтезированных покрытий и производственного аналога показало, что по значениям показателя белизны, термостойкости и химической устойчивости разработанная глазурь не отличается, а по блеску и микротвердости превосходит производственную. Разработанный состав выгодно отличается от применяемого в производстве отсутствием в шихтовых композициях чрезвычайно и высоко опасных компонентов (углекислый барий, цинковые белила).

УДК 666.714

Студ. Е.А. Костик

Науч. рук. профессор И.А. Левицкий  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА**

Целью работы является разработка составов керамических масс и технологии изготовления керамического клинкерного кирпича с высокими показателями эксплуатационных характеристик на основе сырья Республики Беларусь.

Синтез образцов производился на основе поликомпонентной сырьевой смеси, включающей, мас. %: глина «Городное» – 40,0–55,0; суглинки «Фаниполь» – 10,0–30,0; гранитоидные отсеvy – 20,0–35,0. В качестве постоянной составляющей массы использовалась глина месторождения «Крупейский сад» в количестве 10 %. Усредненный химический состав сырьевых материалов приведен в таблице 1.

**Таблица 1 – Усредненный химический состав сырьевых материалов**

Наименование компонентов	Содержание оксидов, %										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	ППП
Глина «Городное»	65,91	15,94	5,27	0,13	0,50	0,68	1,06	0,71	0,09	0,10	9,61
Суглинки «Фаниполь»	79,23	8,65	3,75	1,49	0,41	1,30	0,98	0,69	1,05	–	2,45
Гранитоидные отсеvy	56,61	17,53	6,90	4,57	3,91	2,47	5,46	0,73	0,36	0,21	1,25
Глина «Крупейский сад»	66,51	16,53	5,82	0,07	0,24	0,83	1,54	1,2	0,12	0,10	7,04

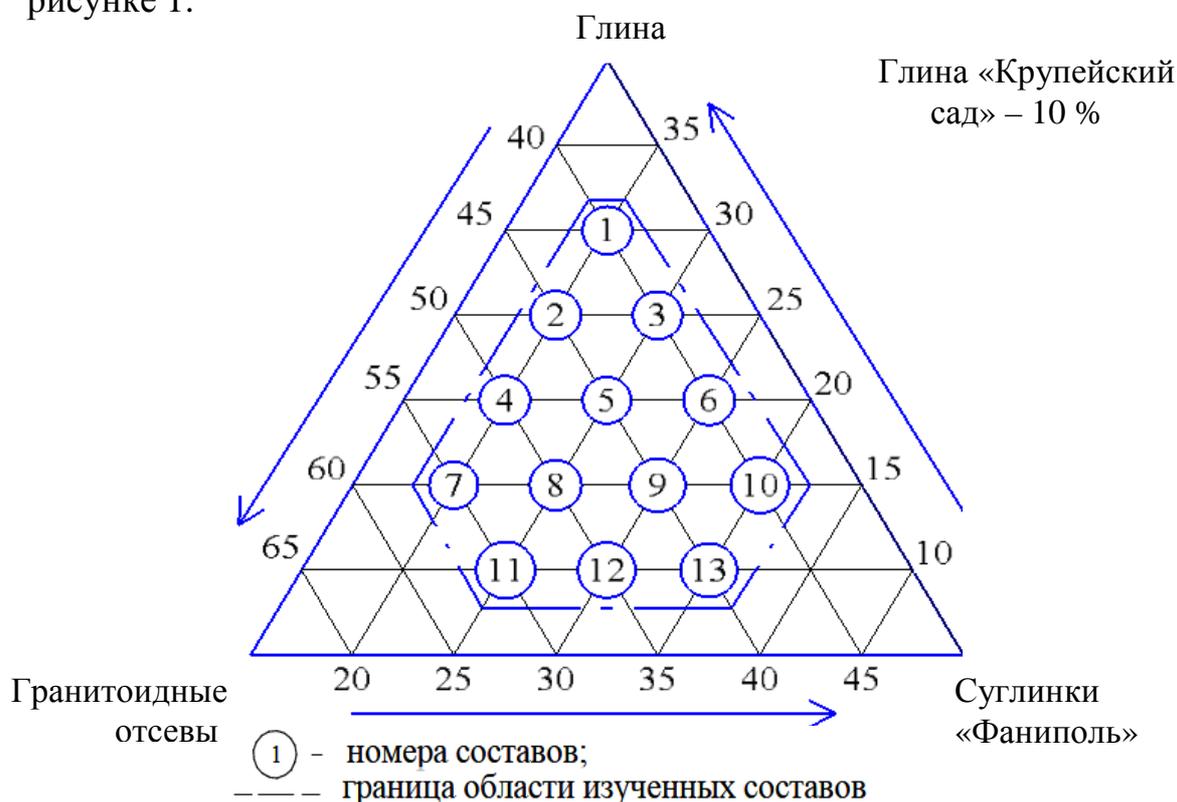
Глина месторождения «Городное» представляет собой породу от желтовато-серого до чёрного цвета. Основными минералами, входящими в ее состав, являются – каолинит, монтмориллонит, гидрослюда, а также смешаннослойные образования. Содержание частиц фракции менее 0,001 мм составляет 49,1–56,7 %, огнеупорность глины – 1410 °С, интервал спекания 150–200 °С. Пластичность сырья составляет 21,5–23,2.

Суглинки месторождения «Фаниполь» представляют собой рыхлую породу желтовато-серого, местами светло-серого цвета. Глинистое вещество имеет полиминеральный состав и представляет собой неоднородную смесь гидрослюд и каолинита.

Гранитоидные отсевы являются наиболее эффективной добавкой. Гранитоидные отсевы представляют собой побочную фракцию ситового обогащения гранитов и щебня. Отсевы камнедробления характеризуются присутствием оксидов алюминия, щелочных и щелочноземельных металлов.

Глина месторождения «Крупейский сад» представляет собой породу с неоднородной пестрой серо-бурой окраской. Содержание частиц фракции размером менее 0,001 мм составляет 27,32–50,12 %. Пластичность сырья составляет 28–29.

Шихтовые составы синтезированных образцов приведены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Шихтовые составы синтезированных образцов**

Исходные сырьевые материалы предварительно высушивались до влажности не более 1 %, измельчались до величины зёрен не более 1 мм. Формовочная влажность массы находилась в интервале от 20 до 21 %. Массы вылеживались в течение 7 суток и после тщательного

промина опытные образцы формовались в виде плиток путем набивания массы в металлические формы размером (25×50×10) мм.

После нанесения меток образцы подвяливали в течение суток, а затем сушили в сушильном шкафу при температуре 105±5 °С.

Обжиг образцов производили в электрической печи при температурах 1100 °С, 1150 °С, 1170 °С и выдержкой при максимальной температуре в течение двух часов.

Обожженные образцы имели равномерную окраску темно-коричневого цвета. У всех образцов на изломе отмечалась плотная текстура.

Общая усадка полученных образцов составляла 7,5–12,0 %.

Для определения водопоглощения, кажущейся плотности и открытой пористости использовали методы насыщения и гидростатического взвешивания.

Водопоглощение синтезированных образцов изменялась от 3,4 % до 7,0 %, открытая пористость – от 8,6 до 17,3 %, кажущаяся плотность – от 2403 до 2543 кг/м<sup>3</sup>.

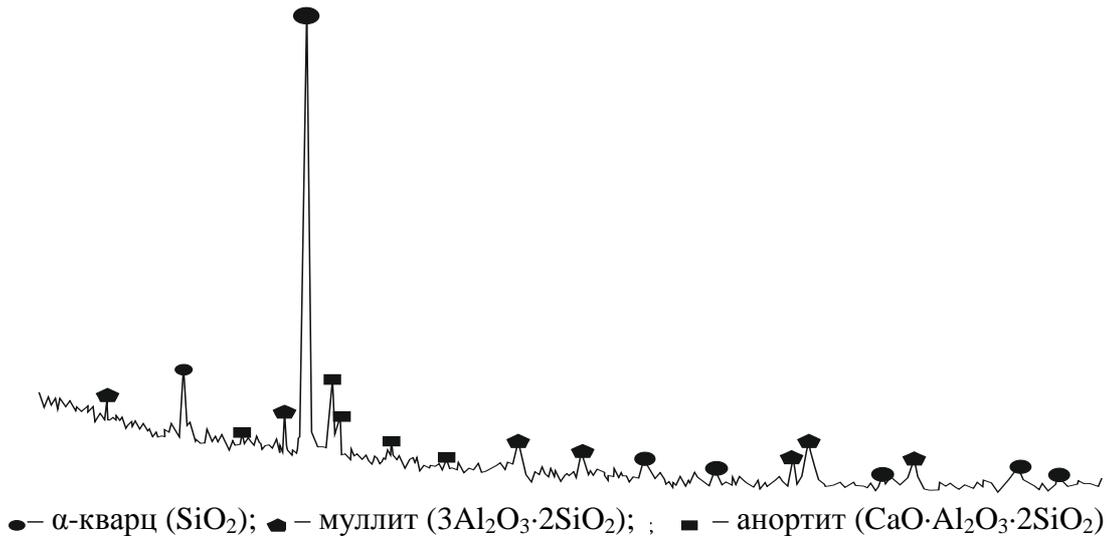
При определении механической прочности при изгибе обожженных образцов использован метод нагружения образца сосредоточенной силой (трехточечный изгиб). Полученные показатели механической прочности при изгибе изменялись в пределах от 11,0 до 14,0 МПа.

Морозостойкость определяли косвенным методом на целых образцах. Для испытания использовался насыщенный раствор Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Образцы помещались в приготовленный раствор, и оставались в нем на 20 ч. Образцы доставались, высушивались в сушильном шкафу при температуре 100–110 °С в течение 4 ч.

После этого образцы опускались в раствор на 4 ч, а затем осматривались. Испытания проводились до их разрушения. Косвенный метод показал значения, соответствующие 100 циклам морозостойкости.

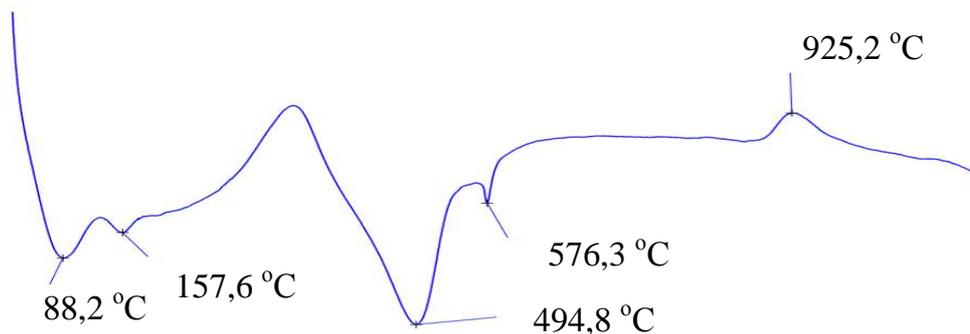
Для определения вида и состава кристаллических фаз, присутствующих в синтезированных образцах, использовали рентгеновский метод исследования. РФА проводился с помощью рентгенофазового дифрактомера ДРОН–2 (Россия).

На дифрактограмме керамической массы оптимального состава наблюдаются рефлексы, характерные для муллита, кварца и анортита (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Дифрактограмма керамической массы оптимального состава**

Дифференциально-сканирующей колориметрией на приборе DSC 404 F3 Pegasus (Германия) установлены фазовые переходы, наблюдаемые в керамической массе (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Кривая ДСК керамической массы оптимального состава**

В интервале температур 88–158 °С происходит удаление физически связанной воды. Глубокий эндотермический эффект при температуре 494,8 °С связан с дегидратацией каолинита. Кроме того, четко фиксируется эндотермический эффект с минимумом 576,3 °С, отвечающий модификационным превращениям кварца. При температуре 925,2 °С характерно наличие экзотермического эффекта, связанного с образованием скрытокристаллического муллита.

Полученные результаты измерений говорят о соответствии полученных образцов требованиям СТБ 1787, предъявляемым к керамическому клинкерному кирпичу.

УДК 666.295.4

Студ. С.В. Лозко

Науч. рук. профессор И.А. Левицкий  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **ПОЛУФРИТТОВАННЫЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА**

Металлизированные глазури, применяемые в производстве керамогранита, поставляются в виде порошков из Италии и используются в керамическом производстве сравнительно недавно. Они обладают высокими декоративно-эстетическими свойствами, и одновременно обеспечивают нейтрализацию облучения от электрических приборов и линий электропередач. Это обусловлено возникновением в покрытиях вихревых токов (токов Фуко), которые наводят в глазури вторичное поле. В связи с тем, что амплитуда данного поля приблизительно равна амплитуде экранируемого, а фазы полей противоположны, в результате сложения происходит их затухание в глазурном покрытии. Такие глазури также отражают тепловое излучение, поддерживая в помещении комфортную температуру.

На кафедре технологии стекла и керамики БГТУ в течение ряда лет ведутся исследования по синтезу металлизированных глазурей различных составов с обеспечением широкой цветовой гаммы и разнообразной фактурой (матовые, полуматовые, блестящие).

Целью исследования является синтез полуфриттованных металлизированных глазурей красно-коричневого цвета, установление особенностей формирования структуры и фазового состава во взаимосвязи с физико-химическими свойствами покрытий. Это обеспечивается совместным введением в состав глазурной композиции двух оксидов переменной валентности – оксида меди (II) и оксида железа (III).

Для получения указанных глазурей использовалась следующая сырьевая композиция, которая включала (здесь и далее по тексту приведены мас. %): алюмоборосиликатную фритту прозрачной глазури 2/154, используемую на ОАО «Керамин» (г. Минск) в количестве 20–35; оксид меди (II) – 5–20 и полевой шпат ПШС-0,30-21 – 17,5–30,0. Шаг варьирования переменных компонентов составил 2 %. Постоянными составляющими композиции явились глинозем марки НО-105; доломитовая мука класса 4; огнеупорная глина Веско-Гранитик; кварцевый песок марки ВС-030-В и оксид железа (III), суммарное количество которых составляло 40 %, и они вводились примерно в одинаковом количестве.

Глазурные суспензии готовились совместным мокрым помолом шихты в шаровой мельнице (Speedy, Италия) до остатка на сетке 0056 в количестве 1,2–1,5 %. Приготовленная суспензия с влажностью 45–48 % методом полива наносилась на покрытый ангобом полуфабрикат керамогранита. Сушка образцов осуществлялась в сушильном шкафу при температуре  $100 \pm 5^\circ\text{C}$  до влажности не более 1 %. Заглазурованные опытными составами образцы подвергались обжигу в производственной конвейерной печи типа FMS-2950 (Италия) при температуре  $1200 \pm 2^\circ\text{C}$  в течении  $48 \pm 2$  мин в производственных условиях ОАО «Керамин». Полученные глазурные покрытия отличались высоким качеством поверхности, гладким разливом, матовой или блестящей фактурой, отсутствием дефектов поверхности.

Цвет покрытий определялся по 100-цветовому атласу ВНИИ им. Д.И. Менделеева, блеск – на фотоэлектронном блескомере ФБ–2 (Россия) с использованием в качестве эталона увиолевого стекла. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) опытных покрытий измерялся на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–400 °С, микротвердость – на приборе Wolpert Wilson Instruments (Германия). Исследования фазового состава проводили на установке D8 ADVANCE Bruker (Германия). Дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) исследовали с применением прибора DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsch (Германия). Микроструктура покрытий исследовалась с помощью электронного сканирующего микроскопа JEOL JSM-5610 VL (Япония).

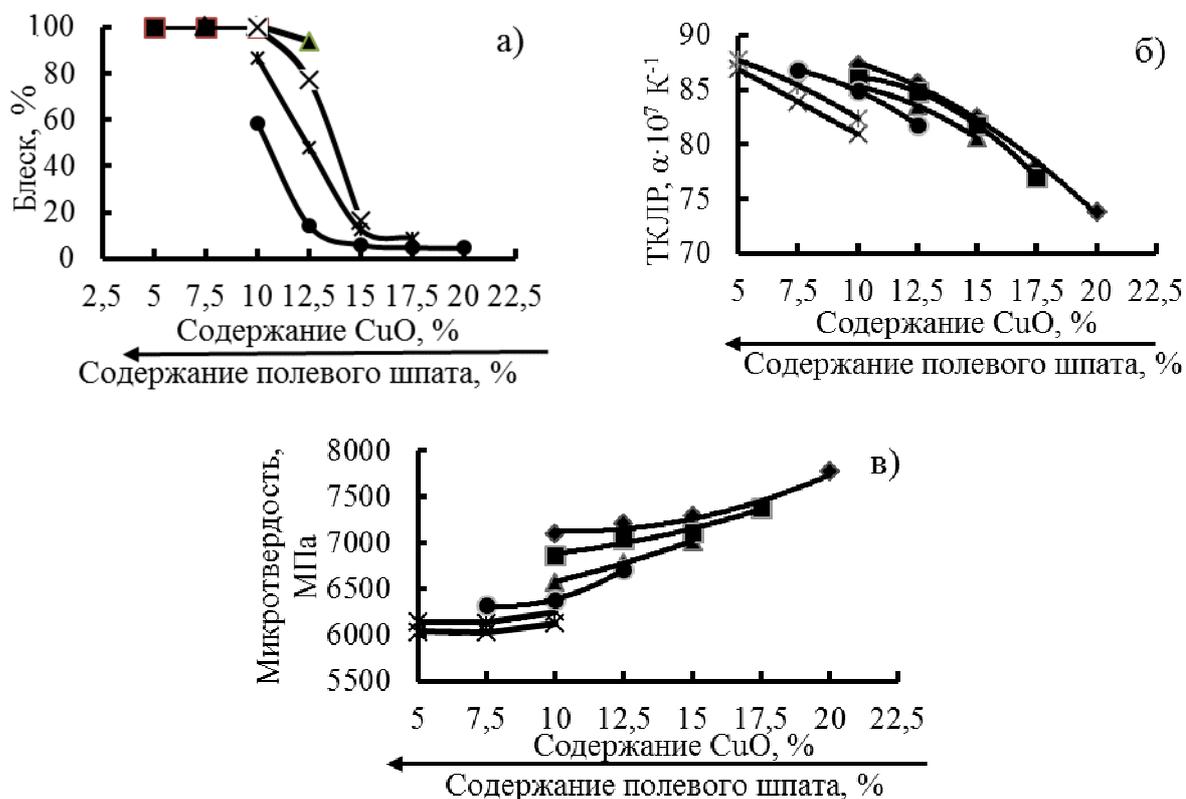
Значения физико-химических свойств глазурных покрытий измерялись в соответствии с ГОСТ 27180-2001 и приведены в таблице.

**Таблица – Физико-химические свойства синтезированных покрытий**

Свойство	Показатели свойств
Цвет покрытия	Темно-серый, серый, красно-коричневый темный
Фактура поверхности	От матовой до зеркально-блестящей
Блеск, %	4,7–100
Микротвердость, МПа	6250–7780
ТКЛР, $\alpha \cdot \text{K}^{-1}$	$(72,5–87,3) \cdot 10^{-7}$
Термическая стойкость	Более 200 °С
Химическая стойкость	Химически стойкие к раствору № 3
Износостойкость, степень	1–2

С помощью рентгенофазового анализа выявлено, что глазурные покрытия представлены следующими кристаллическими фазами: анортитом, теноритом (CuO) и маггемитом ( $\gamma\text{-FeO}_3$ ). Установлено,

что степень кристаллизации покрытий повышается с ростом содержания  $\text{CuO}$ , что приводит к более интенсивной степени их матовости. Зависимость блеска, ТКЛР и микротвердости глазурных покрытий от содержания оксида меди (II), введенной взамен полевого шпата, при постоянном количестве фритты приведена на рисунке 1.

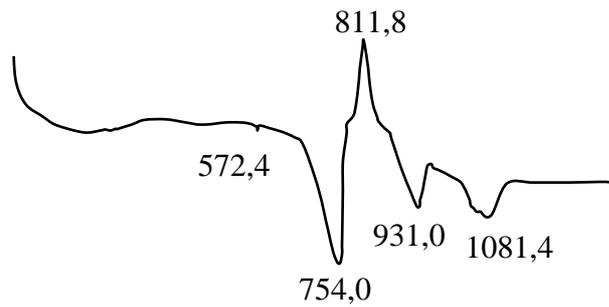


Содержание фритты, %:  $\blacklozenge$  – 20;  $\blacksquare$  – 22,5;  $\blacktriangle$  – 25;  $\bullet$  – 27,5;  $*$  – 30;  $\times$  – 32,5

**Рисунок 1 – Зависимость блеска (а), ТКЛР (б) и микротвердости (в) глазурных покрытий от содержания оксида меди (II), введенного взамен полевого шпата**

Как видно из рисунка 1, блеск покрытия снижается (рисунок 1а), снижаются также значения ТКЛР покрытий (рисунок 1б), а микротвердость возрастает (рисунок 1в). Повышение количества фритты приводит к росту значений блеска. Количество введенной фритты практически не влияет на изменение ТКЛР покрытия, а микротвердость закономерно снижается с ростом ее содержания.

На рисунке 2 приведена кривая ДСК глазурного покрытия, содержащего 15 %  $\text{CuO}$ , снятая в интервале температур 20–1200 °С.



**Рисунок 2 – Кривая ДСК исследуемой глазурной шихты, содержащей оксид меди (II) в количестве 15 %**

На кривой ДСК имеется эндоэффект при температуре 572,4 °С, обусловленный модификационными превращениями кварца. При температуре 754,0 °С и 931,0 °С фиксируются эндоэффекты, вызванные разложением карбонатов магния и кальция, входящих в состав доломитовой муки. Экзотермический эффект отмечается с максимумом при температуре 811,8 °С, что, скорее всего, свидетельствует о процессах кристаллизации анортита. Наличие эндотермического эффекта при температуре 1081,4 °С связано с плавлением шихты.

Структура глазурного покрытия представлена игольчатыми и чешуйчатыми агрегатами, а также октаэдрическими кристаллами. Кристаллические образования расположены по стекловидному фону покрытия неоднородно, они формируются группами.

Проведенными исследованиями установлено, что для получения качественных металлизированных блестящих глазурей красновато-коричневого цвета, отвечающих требованиям нормативно-технической документации, и обладающих высокими декоративно-эстетическими характеристиками и физико-химическими свойствами, максимальное количество оксида меди (II) в составе шихтовой композиции должно составлять 10,0–15,0 % при содержании фритты в количестве 25,0–27,5 %.

Проведенные испытания в заводских условиях ОАО «Керамин» показали возможность использования разработанных покрытий в условиях промышленного производства по существующей технологии приготовления и нанесения глазурей.

В результате исследования разработан состав металлизированной глазури для керамогранита, позволяющий уменьшить энергетические затраты при варке фритт и использовать данное покрытие взамен импортируемого из Италии порошка металлизированной глазури без существенного изменения технологического процесса.

УДК 666.295.7

Магистрант, Е.И. Шнигир

Науч. рук. проф., д-р техн. наук И.А. Левицкий  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **ВЛИЯНИЕ КРАСЯЩИХ ОКСИДОВ НА СВОЙСТВА ГЛУШЕНОЙ ГЛАЗУРИ**

Объектом исследования являются цветные глазури, окрашенные оксидами переменной валентности, полученные на основе фритты 5Н, синтезированной специалистами кафедры технологии стекла и керамики Белорусского государственного технологического университета [1].

Целью исследования является синтез цветных глазурных покрытий, изучение их технологических, физико-химических и декоративно-эстетических характеристик в зависимости от состава и режимов термической обработки; изучение процесса миграции вредных веществ в среды, имитирующие пищевые продукты.

Синтез фритт для получения цветных глазурей проводился путем сплавления шихт глазури 5Н и оксидов меди, хрома, марганца и кобальта. Содержание вышеприведенных оксидов составляет 3, 5 и 7\* % (серия 1). Варка фритт проводилась в фарфоровых тиглях в газопламенной печи при максимальной температуре 1400–1450 °С с выдержкой 1–2 ч. Выработка фритт осуществлялась грануляцией в холодную воду.

Исследовались также глазури, приготовленные путем введения указанных выше оксидов во фритту Н5 при помоле в том же количестве (серия 2).

Получение глазурных суспензий осуществлялось путем совместного мокрого помола синтезированных фритт, огнеупорной глины Веско–Гранитик и калиевой селитры в соотношении 1:0,13:0,008 соответственно в микрошаровой мельнице марки SPEEDY–1 (Италия). Приготовленный глазурный шликер имел влажность 39–41 %, плотность – 1,45–1,50 г/см<sup>3</sup>. Полученные суспензии наносились на внутреннюю поверхность полуфабриката майоликовых изделий, прошедших утильный обжиг, и подвергались полному обжигу при максимальной температуре 960–1080 °С в электрической камерной печи с выдержкой при максимальной температуре 1 ч в условиях ОАО «Белхудожкерамика».

Исследование включало изучение декоративно-эстетических характеристик покрытий, температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), фазового состава, температур фазовых переходов, а

---

\* Здесь и далее по тексту, если не оговорено особо, приведено массовое содержание, мас. %

также микротвердости. Блеск глазурных покрытий измерялся на фотоэлектронном блескомере ФБ–2 (Россия) с использованием в качестве эталона увиолевого стекла, ТКЛР – на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–300 °С. Исследование фазового состава проводилось на установке D8 ADVANCE Brucker AXS (Германия). Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) осуществлялась на приборе DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsch (Германия).

Более качественными по разливу и яркости цветового тона во всем исследованном температурном интервале обжига были цветные глазури, в которых красящие оксиды  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$  и  $\text{MnO}_2$  вводились при варке фритт. Причем покрытия с  $\text{CuO}$  и  $\text{MnO}_2$  отличались высоким блеском для обеих серий составов. Покрытия, окрашенные  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в обеих сериях имели матовый и полуматовый блеск. Для составов обеих серий, содержащих  $\text{CoO}$ , качественные покрытия формировались при температуре 1050–1100 °С. При температуре обжига 950–1040 °С они характеризовались вскипанием глазурного слоя.

Увеличение содержания красящих оксидов приводило к повышению интенсивности окраски покрытий и снижению температуры их размягчения. По влиянию красящих оксидов в количестве 7 % на значения температуры размягчения они располагаются в следующем порядке:  $\text{CuO}$  (570–580 °С) →  $\text{CoO}$  (600–610 °С) →  $\text{MnO}_2$  (610–625 °С) →  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (630–645 °С).

Рост содержания красящих оксидов в составе глазури обеих серий приводил к изменению значений ТКЛР. Так, введение 3, 5 и 7 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  приводило к наиболее существенному росту его значений от  $57,3 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  для глазури 5Н до  $(65–74,2) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Менее существенно повышалось термическое расширение при введении таких же количеств  $\text{CuO}$ : ТКЛР возрастал до  $(59,2–61,0) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .  $\text{MnO}_2$  наиболее существенно снижал эти значения и они составляли  $(55,2–53,1) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . При введении этих же количеств  $\text{CoO}$  значения ТКЛР также снижались – до  $(56,7–55,8) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . По влиянию на температуру начала кристаллизации покрытий это же количество оксидов оказывает обратное воздействие.

Значения микротвердости покрытий незначительно возрастали при введении  $\text{MnO}_2$  и  $\text{CoO}$ . Так, значения микротвердости исходной фритты составило 6600 МПа и возрастало до 6670–6950 МПа при введении 3, 5 и 7 %  $\text{MnO}_2$ . Для  $\text{CoO}$  это повышение составило соответственно 6570–6780 МПа. Введение  $\text{CuO}$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  привело к снижению микротвердости. Причем наиболее существенно эти значения падали при введении указанного выше количества  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – от 6300 до

5010 МПа. CuO в количестве 7 % понижал значения микротвердости до 6350–6110 МПа. Более существенно значения микротвердости повышались для составов серии 2, что может свидетельствовать о сохранении введенных оксидов в глазурном расплаве в кристаллическом состоянии, обеспечивающем более высокие значения микротвердости.

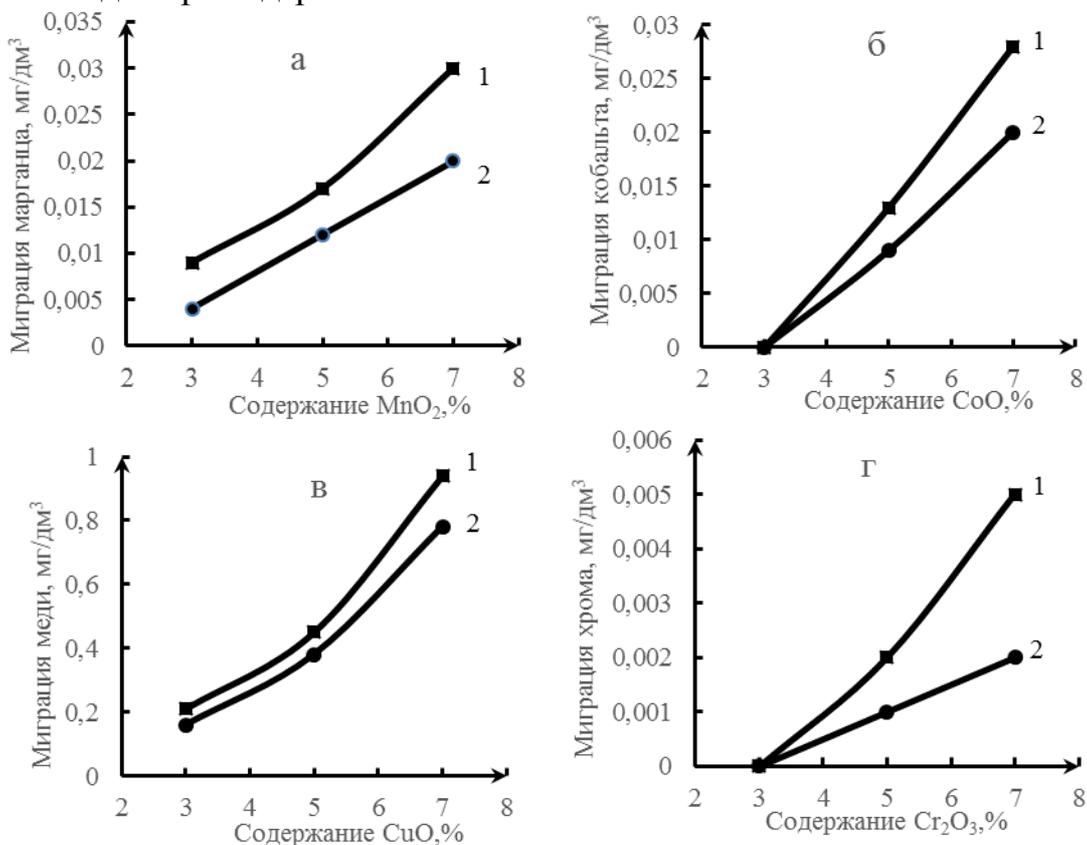
Рентгенофазовым анализом цветных глазурей установлено наличие кристаллических фаз циркона ( $ZrSiO_4$ ) и анортита ( $CaAl_2Si_2O_8$ ). Интенсивность дифракционных максимумов кристаллических фаз более высокая для покрытий серии 2. Это, очевидно, обусловлено тем, что вводимые красящие оксиды являются центрами кристаллизации исходного глазурного стекла, повышая степень кристаллизации покрытий.

Исследования миграции вредных веществ проводились в соответствии с СанНиП 13–3 РБ 2014 «Требования к миграции химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами», государственных норм «Предельно допустимые количества химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами». Согласно допустимому уровню миграции бора в 1 % раствор уксусной кислоты при комнатной температуре при 80 °С должна составлять 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, в водную вытяжку (дистиллированную воду), допускается содержание алюминия в количестве 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Допустимая норма миграции цинка в 2 % раствор уксусной кислоты, содержащей 2 % NaCl, в 3 % раствор молочной кислоты и 2 % раствор лимонной кислоты – не более 1,0 мг/дм<sup>3</sup> для каждой из модельных сред. Миграция красящих оксидов должна не превышать в водные вытяжки: хрома, марганца и кобальта – не более 0,1 мг/дм<sup>3</sup>; меди – не более 1,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Экспериментальные исследования показали, что синтезированные глазурные покрытия обеих серий для всех исследованных составов обладают высокой устойчивостью к миграции бора, алюминия и хрома в модельные среды. Миграция бора в 1% раствор уксусной кислоты при комнатной температуре и в водной вытяжке не обнаружена. Также не обнаружена миграция алюминия и хрома в водной вытяжке при 80 °С для всех испытуемых покрытий. Большинство цветных покрытий отвечает требованиям по миграции цинка, меди и кобальта в модельные среды. Вместе с тем, допустимым нормам по миграции цинка ко всем исследованным средам, а также кобальта не соответствуют покрытия, содержащие по 7 %  $Cr_2O_3$  и CoO соответственно (рисунок 1).

Так, миграция цинка в 2 % раствор уксусной кислоты, содержащей 2 % NaCl составляет 0,228–0,632 мг/дм<sup>3</sup>, в 3 % растворе молочной

кислоты – 0,444–0,642 мг/дм<sup>3</sup>, в 2 % раствор лимонной кислоты – 0,275–0,265 мг/дм<sup>3</sup> при содержании CuO в количестве 3 и 5 %.



Рост содержания CuO до 7 % приводит к повышению миграции  
**Рисунок – Зависимость миграции марганца (а), кобальта (б), меди (в) и хрома (г) от содержания соответствующих оксидов, вводимых 1 – при помоле, 2 – при варке фритт**

цинка в 2 % раствор уксусной кислоты в количестве 1,953–5,740 мг/дм<sup>3</sup>, в 3 % раствор молочной кислоты – 5,420 – 7,533 мг/дм<sup>3</sup>, в 2 %-ном растворе лимонной кислоты 1,020–3,830 мг/дм<sup>3</sup>. Кобальт мигрирует в водную вытяжку при 80 °С при содержании 7 % CoO в покрытиях в количестве 0,216 – 0,441 мг/дм<sup>3</sup>. Миграция меди в водной вытяжке всех исследованных покрытий составляет от 0,345 до 0,793 мг/дм<sup>3</sup>, марганца – 0,015 – 0,028 мг/дм<sup>3</sup>, кобальта – 0,019 – 0,065 мг/дм<sup>3</sup>.

Миграция вредных веществ в модельные среды определяется структурными особенностями алюмоборосиликатной сетки синтезированных цветных глазурных покрытий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Левицкий И. А. Глушенная глазурь для хозяйственно-бытовых майоликовых изделий / И. А. Левицкий [и др.] Стекло и керамика. 2016. – № 6. – С. 27–30.

УДК 666.3-128

Студ. Е. Н. Макушенко

Науч. рук. доц., к.т.н. Р. Ю. Попов

(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## ПОЛУЧЕНИЕ ТУГОПЛАВКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Огнеупорные и тугоплавкие изделия широко используются в машиностроительной, металлургической, стекольной, химической и других отраслях промышленности. Основным назначением огнеупоров является защита внешней среды и менее стойких элементов конструкции от воздействия высоких температур, горячих газов, расплавов и т. п. [1].

В Республике Беларусь нет производства огнеупорных и тугоплавких материалов, они полностью ввозятся из стран СНГ (Россия, Украина).

Учитывая большую потребность в таких изделиях, а также высокую стоимость импортных огнеупоров и сырьевых материалов для их получения, целью работы является получение тугоплавкого кирпича с заданными эксплуатационными характеристиками с использованием отечественного сырья при пониженных температурах синтеза (1100 – 1200 °С).

В качестве сырьевых применялись: глины тугоплавкая месторождения «Городное», глина огнеупорная месторождения «Боровичи», а также алюмосиликатный шамот. В качестве связки выступала концентрированная ортофосфорная кислота. В качестве добавок сверх 100 % применялись: доломит, карбонат магния, а также оксид магния. Составы керамических масс приведены в таблице 1

**Таблица 1 – Составы опытных масс**

Название компонента	Индекс состава и содержание компонентов, мас. %											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Глина «Городок»	30	30	40	40	30	30	40	40	30	30	40	40
Глина «Боровичи»	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Шамот	60	60	50	50	60	60	50	50	60	60	50	50
Доломит	2,5	5	2,5	5	–	–	–	–	–	–	–	–
MgCO <sub>3</sub>	–	–	–	–	2,5	5	2,5	5	–	–	–	–
MgO	–	–	–	–	–	–	–	–	2,5	5	2,5	5

Образцы готовились методом полусухого прессования. Все составы предварительно высушиваются, глинистые компоненты просеиваются через сито №1, шамот рассеивается на фракции. Далее все компоненты дозируются по массе в соответствии с составом (300 г), смешиваются в фарфоровой ступке. Затем добавляется связка. В качестве связки выступает 87 %-я ортофосфорная кислота  $H_3PO_4$  в количестве 10 мас.% сверх 100 мас. %. После перемешивания массе необходимо вылежаться в течении 15-30 мин. Образцы в виде цилиндров диаметром 30 мм, плиточки размером (50×50×5) мм, палочки размером (5×5×50) мм. Давление прессования составляет 30 МПа. Прессование ведется в две стадии для исключения запрессовки воздуха. Сначала подается 1/3 от максимальной нагрузки, затем нагрузка снимается и снова нагружается до необходимого значения. Сушку образцов производили в сушильном шкафу при температуре  $300 \pm 5$  °С с выдержкой в 1 ч. Остаточная влажность не превышала 0,5 %. Обжиг образцов производился в электрической муфельной печи при температурах 1100, 1200 °С с выдержкой в 1 ч и максимальной скорости подъема температуры – не более 250 °С/ч.

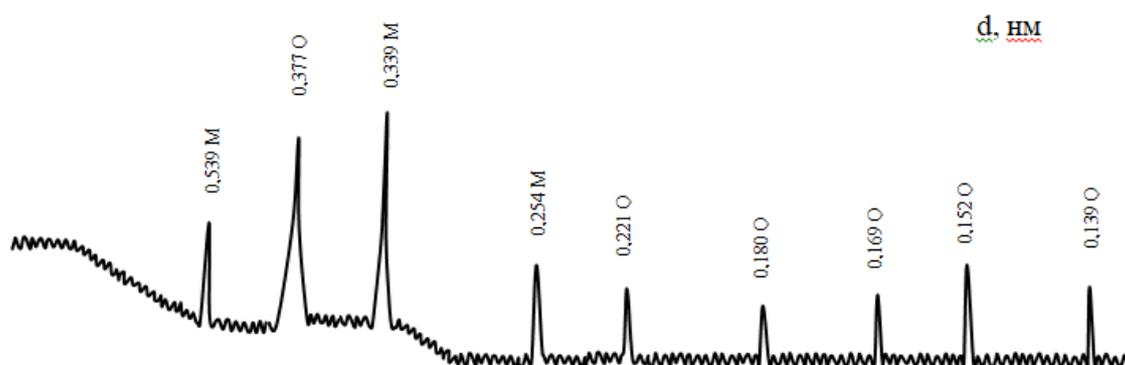
Физико-химические свойства образцов материала изучались в соответствии с требованиями стандарта. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) измерялся дилатометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20 – 300 °С, прочность при сжатии – на прессе GTGabTec<sub>SRL</sub> (Италия). Термостойкость определялась количеством термосмен образцов, нагретых до 1000 °С и резким охлаждением в воде комнатной температуры. Рентгенофазовый анализ проводился на установке D8 ADVANCE Brucker (Германия).

Значения физико-химических свойств образцов приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Физико-химические свойства керамики**

Показатели	Значения физико-химических свойств		
	образцов, полученных при температуре:		согласно требованиям стандарта СТБ 1409-2003
	1100 °С	1200 °С	
1	2	3	4
Водопоглощение, %	10,8 – 15,4	8,6 – 14,0	–
Открытая пористость, %	21,4 – 28,2	18,5 – 23,9	–
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	1835 – 1971	1708 – 2148	Не менее 1400
Предел прочности при сжатии, МПа	35,8 – 60,6	39,8 – 66,9	Не менее 10
Термостойкость	>100	>100	Не менее 20
ТКЛР $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$	3,65 – 4,70	3,29 – 4,48	–

Данные рентгенофазового анализа, приведенный на рисунке 1 свидетельствуют о том, что основными кристаллическими фазами являются муллит и кварц.



Q –  $\alpha$ -кварц; M – муллит

Рисунок 1 – Рентнограмма образца состава 11 при температуре синтеза 1100 °С

Структура полученных образцов керамики представлена на рисунке 2.

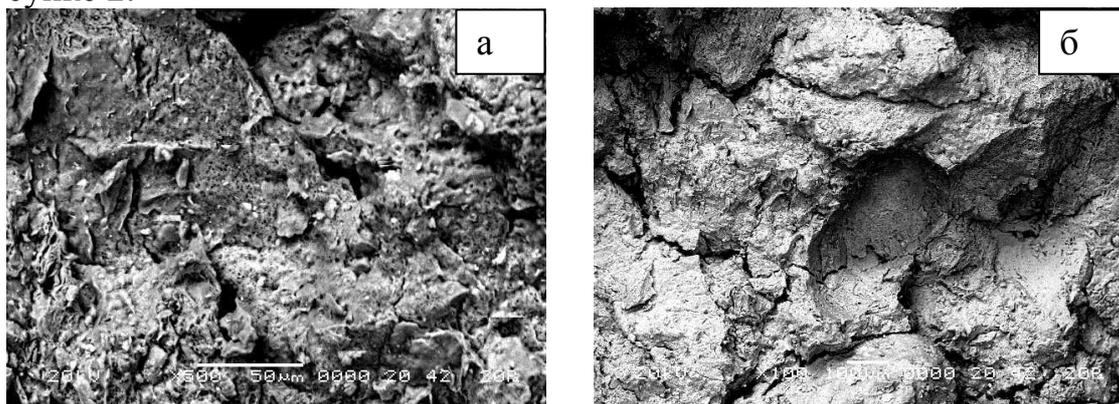


Рисунок 2 – Электронная микроскопия образца состава 11 при увеличении а)  $\times 100$ , б)  $\times 500$

Структура синтезированных материалов достаточно неоднородная, представлена кристаллическим веществом, зернами кварца, кристаллами муллита, включениями железа и аморфной фазой сложного минерального состава. Кварц представлен в виде крупных зерен оскольчатой угловатой формы, распределен равномерно. С увеличением температуры обжига увеличивается интенсивность окраски материала.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность получения тугоплавкого кирпича, обладающего требуемым комплексом физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик, с использованием отечественного глинистого сырья, а также оксида магния в качестве модифицирующей добавки. При этом в состав керамической массы целесообразно вводить от

2,5 % оксида магния, что существенно повышает технико-эксплуатационные свойства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дятлова, Е.М. Химическая технология керамики и огнеупоров. Лабораторный практикум: учеб. пособие / Е.М. Дятлова, В.А. Бирюк. – Минск: БГТУ, 2006. – 284 с.

2. Способ изготовления огнеупорных силикатных материалов для футеровки вагонеток обжига кирпича и других тепловых агрегатов: пат. № 2145311 РФ, МПК 7 С 04 В 33/22, С 04 В 35/66/ М.М. Усманов, Р.Р. Салихов; заявл. 14.12.2011; опубл. 20.04.2013 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/247/2145311.html>. – Дата доступа: 15.04.2019.

УДК 666.189.3

Студ. В.В. Козлова

Науч.рук. доц. к.т.н. И.М. Терещенко

(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

### **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО ПЕНОСТЕКЛА НА ОСНОВЕ ОТСЕВОВ СОРТИРОВКИ СТЕКЛОБОЯ**

Среди теплоизоляционных материалов широкое распространение в строительстве, все большее значение приобретают теплоизоляционные материалы, способные эффективно выполнять свои функции по сбережению энергетических ресурсов, затрачиваемых на создание и поддержание необходимого температурного режима во внутренних помещениях. Одним из наиболее перспективных материалов в этом отношении является пеностекло. При этом особый интерес представляет пеностекло, изготовленное в виде гранул размером менее 4 мм.

Известный способ получения пеностекла заключается в варке специального стекла, его дроблении, получении шихты с добавками газообразующих компонентов и вспенивании при  $t > 800$  °С [1]. Такая технология осложняется необходимостью применения стекла с нормированным составом, а использование сульфатов в качестве окислителя при газообразовании сопряжено с образованием сероводорода, что сужает область применения продукт.

Уход от порошковой технологии получения пеностекла был реализован путем создания технологий производства гранулированного

продукта. При этом термообработке подвергается не порошковая шихта, а предварительно гранулированный полуфабрикат, что существенно упрощает техпроцесс, позволяет снизить требования к основному сырью – стеклобою [2].

В настоящее время, практически весь стеклобой сортируется и возвращается обратно в производство, в связи с чем отсутствует сырьевая база для производства гранулированного пеностекла. С другой стороны, количество ежегодно образующихся в условиях ГУ «Белресурсы» силикатных стекол в виде бытовых отходов, не улавливаемых оптическими индикаторами – отсеков сортировки стеклобоя – составляет 10000 т/год и по количеству сопоставимо с добычей некоторых видов промышленного минерального сырья.

Целью работы является разработка составов и технологии производства вспененных гранулированных материалов на основе отсеков сортировки стеклобоя.

Проведенное с данной работе исследование отсеков сортировки стеклобоя ГО «Белресурсы» показало следующее:

– усредненный состав отсеков – 88–90 % стекла, преимущественно тарного, которое является «длинным», органические включения – 6–7 %, керамика и камни – 3–4 %;

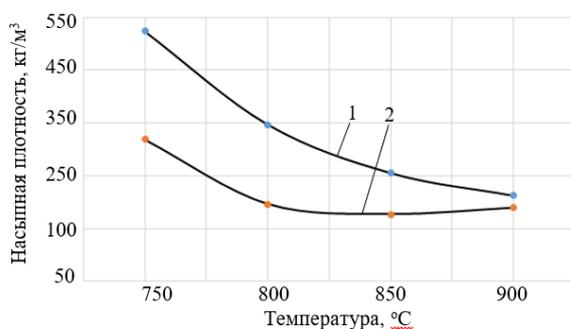
– гранулометрический состав отсеков: (2,5–5) мм – 23–25 %; (1–2,5) мм – 45–48 %; (<1) мм – 28–32 %;

– усредненный химический состав стекла, определенный способом флуоресцентной дифрактометрии следующий, мас. %: SiO<sub>2</sub> – 71,0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,24; Na<sub>2</sub>O – 14,12; CaO – 10,43; MgO – 1,20; SO<sub>3</sub> – 0,41. Это является благоприятным фактором для вспенивания полуфабрикатов, поскольку температурный градиент вязкости  $d\eta/dT$  для тарных стекол в области их вспенивания (780–880 °С) относительно мал, в итоге выделяющиеся при нагреве газы не успевают диффундировать в атмосферу. Для использования отсеков сортировки стеклобоя в производстве гранулированного пеностекла следует предварительно осуществить их термическую обработку, например, в сушильном барабане, при температуре не ниже 400–500 °С с целью выгорания органических включений. При этом образуется углерод, который является газообразователем пеностекла и, таким образом, возможно снизить количество вспенивающих добавок в пеностекольную шихту.

Далее, целесообразно, сразу после термообработки осуществлять резкое охлаждение горячего стекла с целью снижения его механической прочности для облегчения последующей стадии – измельчения до удельной поверхности 6000 см<sup>2</sup>/г.

В качестве связующего в разрабатываемой технологии использовалось жидкое стекло в количестве до 10 %, обеспечивающее, с одной стороны легкость гранулирования шихты, а с другой – вспенивание смеси по гидратному способу при термической обработке. В качестве газообразователя использовались органические добавки: глицерин, сажа, мочевины и сахар, поскольку из данных литературы известно, что жидкое стекло не может полностью заменить углерод в качестве вспенивающей добавки.

При выполнении работы изучено влияние температуры термической обработки и вида вспенивающих добавок на насыпную плотность вспененных продуктов, которое показывает следующее: при содержании вспенивающих добавок (сажи, сахара, глицерина и мочевины) постоянным и равным 0,5 % и изотермической выдержке при максимальной температуре 10 мин начиная с температуры термообработки 750 °С отмечается резкое снижение насыпной плотности продуктов обжига, что связано с выгоранием добавок и снижением вязкости, затем начиная с температуры 850 °С происходит интенсивное выделение газообразователя и насыпная плотность изменяется в меньшей степени. Минимум насыпной плотности достигается в интервале температур 820–850 °С. При термической обработке гранул данных составов было выявлено, что составы с сажей и мочевиной недостаточно эффективны, поскольку сажа достаточно дисперсна и очень быстро выгорает, а мочевина в свою очередь разлагается. Наилучшими значениями насыпной плотности обладают составы, содержащие в своем составе сахар и глицерин. Сахар является дорогим продуктом, поэтому дальнейшему исследованию на составах, включающих глицерин и сажу в качестве вспенивающих добавок.



**Рисунок 1 – Зависимость насыпной плотности вспененного продукта от температуры термообработки:**

**1 – сажа, 2 – глицерин**

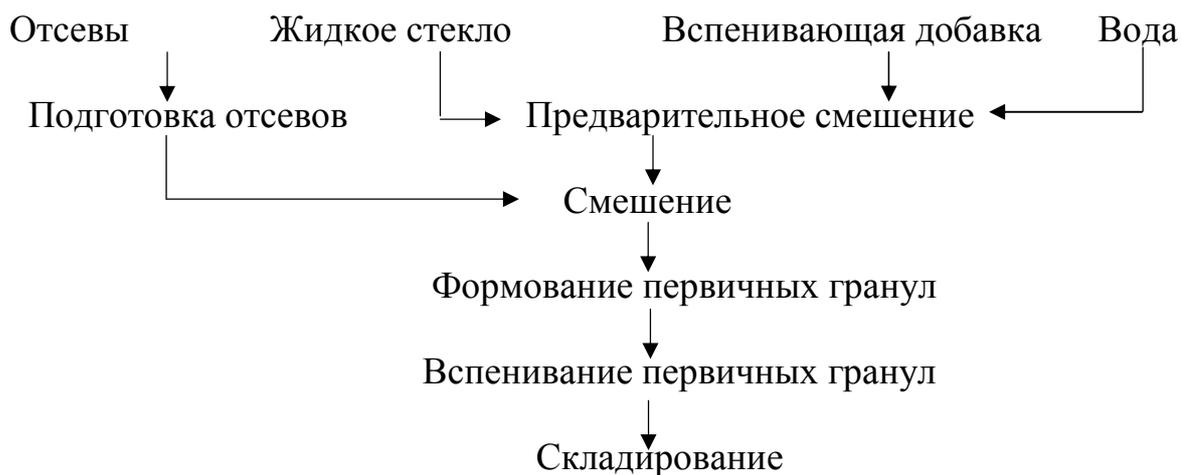
После выбора оптимальных составов изучено влияние режима термообработки на свойства вспененного материала. На рисунке 1 представлено влияние температуры вспенивания на насыпную плотность материала.

Установлено, что оптимальная температура вспенивания для состава со вспенивающей добавкой сажа составляет 825 °С, для состава с глицерином – 800 °С

обеспечивает соответственно насыпную плотность 220 и 146 кг/м<sup>3</sup>, потери массы при кипячении 0,008 и 0,17 %, водопоглощение 1,09 и 0,56 %, механическая прочность 0,83 и 0,86 МПа, коэффициент теплопроводности 0,078 и 0,068 Вт/м·К. На рентгенограмме наблюдается сглаженный ход кривой и отсутствие пиков интенсивности дифрагированного рентгеновского излучения, что свидетельствует о аморфности продукта термообработки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наилучшими свойствами обладает вспененный продукт состава с глицерином, который имеет низкую насыпную плотность 150 кг/м<sup>3</sup> и обладает микропористой структурой, в которой доминируют закрытые поры, что делает получаемый гранулированный материал идеальным теплоизолятором.

Технологический процесс получения гранулированных теплоизоляционных материалов на основе отсевов сортировки стеклобоя представлен следующей принципиальной схемой:



Проведенными экономическими расчетами показано, что при объеме производства – 50000 м<sup>3</sup>/год, себестоимость 1 м<sup>3</sup> равна 63,48 руб, то есть примерно такая же как у керамзита – основным достоинством которого является дешевизна.

Разработанная технология производства гранулированного пеностекла на основе отсевов стеклобоя имеет несколько преимуществ:

– основным сырьем для производства гранулированных теплоизоляционных материалов являются отсевы стеклобоя, получаемые в условиях предприятия ГО «Белресурсы», использование которых в качестве исходного сырья для получения теплоизоляционных материалов обеспечивает снижение стоимости продукта (35 \$) по

отношению к гранулированному пеностеклу на основе сортированного стеклобоя (90 \$);

– расширение сырьевой базы за счет использования стеклобоя различных стекол и отказа от сульфатного механизма газовыделения. С этой целью дополнительно вводится в шихту жидкое стекло – гидратный механизм газовыделения;

– вспенивание гранулированного полуфабриката обеспечивает возможность получения на его основе, как блоков, так и щебня, и гравия, снижает трудоемкость процесса и энергозатраты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Демидович, Б.К. Производство и применение пеностекла / Б.К. Демидович // Б.К. Демидович – Минск. «Наука и техника». – 1975. – 248 с.

2. Пеностекло. Научные основы и технология / Н.И. Минько [и др.] : Воронеж ООО "Издательство "Научная книга". – 2008. – 168 с.

УДК 666.3

Студ. А.А. Карниевич

Науч. рук. доц. к.т.н. Е.М. Дятлова

(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

### **КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА МАГНИЯ ДЛЯ ТЕРМОСТАБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ**

Керамические диэлектрики находят широкое применение в электронной технике. Диэлектрическими называют материалы, основным электрическим свойством которых является способность к поляризации и в которых возможно существование электростатического поля. Как известно [1], диоксид титана обладает повышенным значением диэлектрической проницаемости и является основным материалов для изготовления «конденсаторной керамики». Современные материалы на основе различных титанатов обладают широким диапазоном электрофизических характеристик.

Особый интерес представляют диэлектрики с положительным коэффициентом диэлектрической проницаемости. Получение таких материалов являлось целью данного исследования. Согласно литературным данным большинство титанатов металлов и оксид титана обладают отрицательным коэффициентом диэлектрической проницаемости. Исключение составляет титанат магния. Диэлектрики, син-

тезируемые на основе титаната магния, могут достигать значений ТКЕ до  $+70 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

Синтез опытных образцов проводился на основе титаната магния с дополнительным введением оксидов-модификаторов. Оксиды титана и циркония вводились в виде чистых реактивов, оксид магния – жженой магнезией, оксид кальция – карбонатом кальция. Для активизации процесса спекания и снижения температуры обжига вводился минерализатор в виде оксида кальция. Диоксид циркония использовался для уменьшения диэлектрических потерь на высоких частотах за счет формирования мелких кристаллитов. Оксид кальция вводили эквивалентно оксиду магния, оксид циркония – вместо оксида титана. Содержания компонентов варьируется в следующий пределах, мас. %:  $\text{TiO}_2$  – 57,7-66,5;  $\text{MgO}$  – 33,5-30,9;  $\text{ZrO}_2$  – 9,8-19,1;  $\text{CaO}$  – 0,9-2,8. Изготовление образцов производилось методом полусухого прессования. Обжиг материалов осуществлялся при температурах 1250–1400 °С.

Образцы при температуре 1400 °С не сохранили свою форму и оплавившись, что объясняется малым температурным интервалом спекания данных материалов.

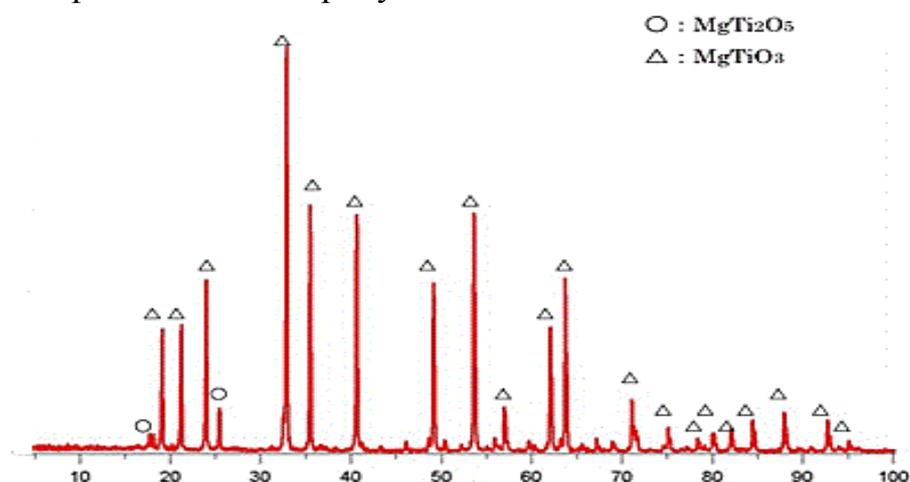
Общая усадка образцов составила от 0,82 до 3,50 %, и увеличивалась с ростом температуры обжига. Водопоглощение варьировалось в пределах 1,25-4,11 %, а кажущаяся плотность 2630-3770  $\text{кг/м}^3$ . Такие изменения зависят как от состава исходных смесей, так и от температуры обжига.

Значения температурного коэффициента диэлектрической проницаемости опытных образцов находится в диапазоне от  $42,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  до  $69,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , диэлектрические потери составили  $\text{tg } \delta = (8-15) \cdot 10^{-4}$ , диэлектрическая проницаемость от 13,63 до 21,65, а величина электрического сопротивление более  $10^{11} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Установлено, что ведение в состав модифицирующих добавок в виде оксида кальция и диоксида циркония способствует увеличению диэлектрической проницаемости, что обусловлено изменением структуры керамического материала.

Оксид кальция способствует увеличению диэлектрической проницаемости, но приводит к снижению температурного коэффициента диэлектрической проницаемости. Это в первую очередь, связано с усилением процесса поляризации за счет формирования кристаллической перовскитовой структуры с повышенной степенью тетрагональности, а также с возможным появлением новых кристаллических фаз, таких как  $\text{CaTiO}_3$ , который имеет диэлектрическую проницаемость в 7-8 раз выше чем  $\text{MgTiO}_3$  [2].

С помощью качественного рентгенофазового анализа были проведены исследования фазового состава полученных материалов. Основной кристаллической фазой в образцах на основе системы  $\text{Mg}(\text{Ca}, \text{Zr})\text{O} - \text{TiO}_2$  является титанат магния. Дифрактограмма образца состава № 5 представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Дифрактограмма образца состава № 5**

По результатам рентгенофазового анализа можно сделать вывод о том что в образцах преобладает необходимая синтезируемая  $\text{MgTiO}_3$  фаза. Ее количество составляет 59,1 %. Фаза  $\text{Mg}_2(\text{TiO}_4)$  оставляет 26,9 %, а также образец содержит небольшие примеси рутила.

Дифференциально-термический анализ керамической массы позволил установить процессы, происходящие при ее нагревании и обусловленные, главным образом, ее химическим составом и структурой. Кривая ДТА керамической массы состава №5 представлена на рисунке 2 и свидетельствует о наличии ряда термических эффектов. В интервале температур 100–300 °С наблюдается удаление адсорбированной воды, а также выгорание органических примесей. Эндотермический эффект при температуре 384,8 °С характерен для жженой магнезии. Модификационные изменения характерные для оксида титана происходят при температуре 736,3 °С. Это связано с образованием брукита из непрореагировавшего рутила. При температуре 942,7 °С происходит разложение карбоната кальция, входящих в состав смеси.

Для получения сведений о микроструктуре исследуемых образцов, размере кристаллов, их форме, взаимного расположения частиц, характера поверхности использовался метод электронной микроскопии. Результаты представлены на рисунке 3. Результаты оптической микроскопии показали, что материал характеризуется однородностью, равномерностью распределения кристаллических фаз и пор. Все образцы имеют гетерогенную зернистую структуру. Общий

размер зерен кристаллических фаз от 0,09 до 0,165 мкм. При повышении температуры зернистость поверхности уменьшается, получается более спеченный материал. Белые вкрапления свидетельствуют о остаточной фазе непрореагировавшего оксида титана.

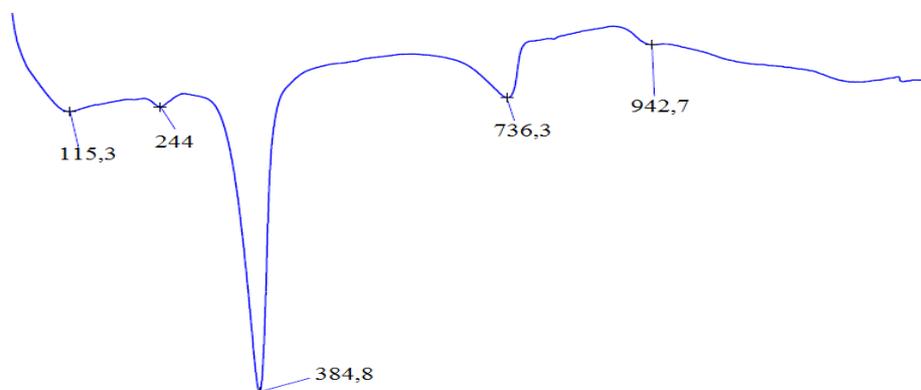
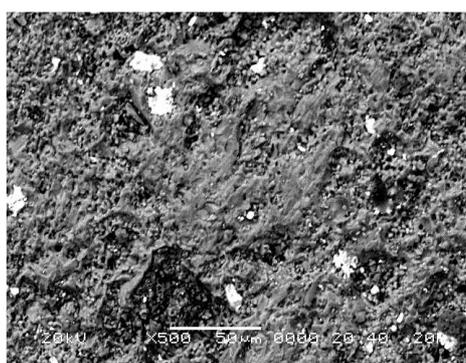
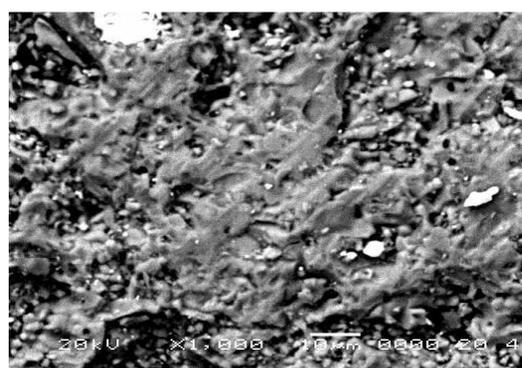


Рисунок 2 □ Кривая ДТА керамической массы состава 5



×500



Б) ×1000

Рисунок 3 □ Электронная микроскопия образца № 5, синтезированного при температуре 1350 °С

На основе проведенного исследования установлено влияние модификаторов и температуры обжига на структуру и свойства синтезированных материалов. Разработанные материалы на основе титаната магния могут быть использованы в электронной отрасли для получения термостабильных конденсаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Окадзаки, К. Технология керамических диэлектриков / К. Окадзаки – М.: Энергия, 1976. – 327 с.
2. Котова, О.Б. Технологическая минералогия – основа комплексного использования сырьевого потенциала Европейского Северо-Востока / О.Б. Котова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2010. – № 9. – Вып. 2. – С. 36–38.

УДК 504.064.47:628.386

Студ. О. Д. Пашкевич, Н.Л. Санкевич  
Науч. рук. доц., к.т.н., А.В. Лихачева  
(кафедра промышленной экологии, БГТУ)

## **ПЕРЕРАБОТКА ОТРАБОТАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЦИНКОВАНИЯ**

Оксид цинка находит широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Основная область его применения это использование в качестве пигмента, в резинотехнической и шинной промышленности, в промышленности стройматериалов.

В качестве сырья для производства оксида цинка могут служить отходы химической, медеплавильной и металлообрабатывающей промышленности. Спектр цинксодержащих отходов, которые могут рассматриваться в качестве сырьевых ресурсов достаточно широк, к ним относятся: шлаки; изгарь; серая окись; гарт-цинк; цинковые дроссы; цинксодержащие отходы вискозного производства; отработанные электролиты цинкования. Чаще всего отходы представляют собой шламы, содержащие цинк в виде металлического цинка и его соединений[1].

На кафедре промышленной экологии были проведены исследования направленные на получение оксида цинка из отходов гальванического производства, в частности из отработанных электролитов цинкования.

Отработанные электролиты цинкования характеризуются высокой концентрацией ионов цинка (до 250 г/л). Они образуются периодически от одного до четырех раз в год в зависимости от режима слива гальванических ванн и характеризуются небольшим расходом, который определяется объемом гальванических ванн и количеством таких ванн на предприятии.

На большинстве предприятий осуществляется совместный сброс и очистка промывных сточных вод и отработанных электролитов цинкования. Объемы сбрасываемых отработанных электролитов составляет порядка 2-3 % от общего количества сточных вод гальванического производства, однако концентрация ионов тяжелых металлов в них в 100-150 раз превышает соответствующую концентрацию в промывных сточных водах.

Совместная очистка отработанных электролитов и промывных сточных вод также приводит к образованию больших объемов осадков, которые в большинстве случаев хранятся на территории предприятия. Их хранение занимает полезные площади и вызывает риск попадания тяжелых металлов и других загрязняющих веществ в

подземные воды.

Уровень использования отходов гальванического производства остается низким, и основная их масса хранится на территории предприятий в металлических контейнерах, герметичных емкостях, отстойниках, шламонакопителях, реже – на объектах размещения за пределами предприятий. Использованием и обезвреживанием отходов гальванического производства занимается незначительная часть предприятий, а с учетом все возрастающего количества образующихся и уже накопленных отходов гальванического производства проблема обращения с ними требует неотлагательного решения в масштабах всей страны [2].

В работе оксид цинка получали методом его осаждения из отработанных электролитов цинкования. Метод получения цинковых белил основан на осаждении при температуре 85 °С оксида цинка из отработанного электролита цинкования, в качестве осадителя использовался уротропин ((CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>N<sub>4</sub>) [3]. В используемом источнике информации рассматривается получение оксида цинка из чистых растворов. В работе же использовались многокомпонентные растворы, которые кроме ионов цинка, содержали другие компоненты, присутствовавшие в электролитах цинкования и продукты их электрохимического превращения. В ходе исследований установлено: на выход готового продукта влияет состав отработанного электролита цинкования, а именно присутствие блескообразователя СБЦ-1.

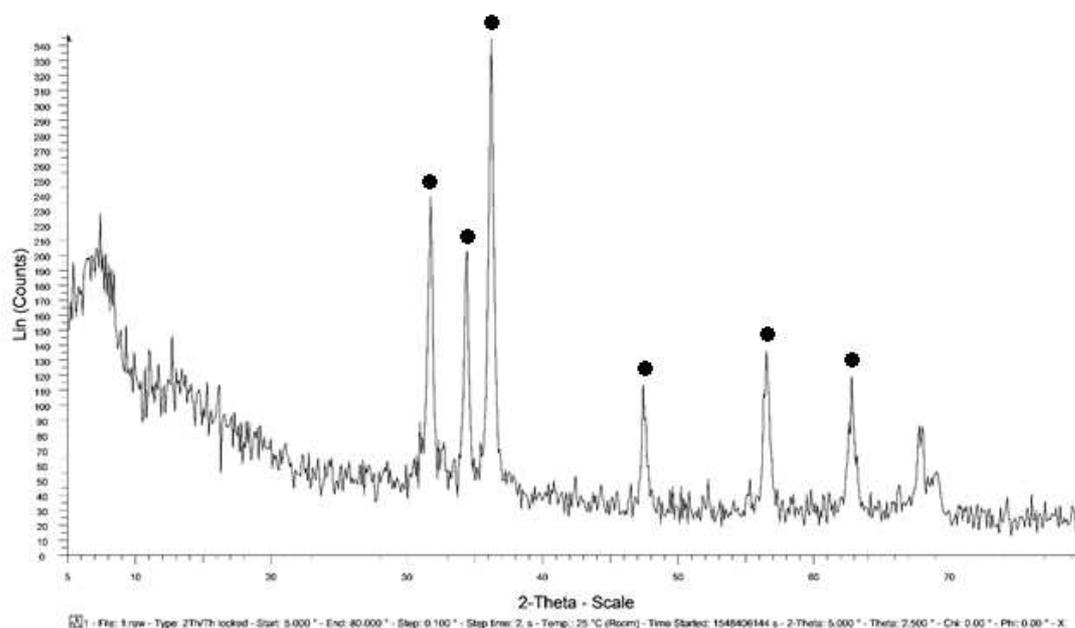
В ходе проведенных исследований установлено, что оптимальными условиями осаждения оксида цинка из отработанных электролитов цинкования уротропином следующие:

- температура осаждения 87 °С;
- рН осаждения 11;
- соотношение отработанный электролит цинкования: уротропин – 1:2;
- время осаждения 1,5 ч;
- время отстаивания 4 ч.

При данных параметрах выход готового продукта составил 92,5 %.

Результаты рентгенофазового анализа осадка (рисунок 1), полученного при осаждении из отработанных электролитов цинкования ОАО «Речицкий метизный завод», свидетельствуют об однофазной кристаллической структуре образца, кристаллической фазой которого является оксид цинка (ZnO).

Маслоемкость полученного оксида цинка составила 45,5 г/г, укрывистость равна 120 г/м<sup>2</sup>, оба данные значения соответствуют требуемым значениям ГОСТ 482-77.



**Рисунок 1 – Рентгенограмма осадка, полученного осаждением ионов цинка из отработанных электролитов цинкования ОАО «Речицкий метизный завод» гексаметилентетраминном (• – ZnO)**

На основании результатов исследований полученный оксид цинка можно отнести к марке БЦЗ по ГОСТ 202-76, который применяется для производства масляных и алкидных красок, строительных материалов и неотвественных асбестотехнических изделий.

Полученные результаты исследований легли в основу разработанной технологической схемы процесса получения оксида цинка из отработанного электролита цинкования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Валуев Д.В. Технологии переработки металлургических отходов / Д.В. Валуев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 196 с.

2 Марцуль В.Н. [и др.] Очистка сточных вод гальванических цехов предприятия Республики Беларусь/ В.Н. Марцуль [и др.] / Сб. науч. трудов БГТУ, 2013 - №3. Химия и технология неорганических веществ. – С. 61-67.

3 Сяовэй Ц. Разработка методов получения наночастиц оксида цинка различных форм и размеров: дисс. работа на соиск. уч. степ. канд. хим. наук. – Москва, 2014. – 154 с.

УДК 502.3

Студ. БГТУ О.Н. Остапук;  
уч. 9 класса ГУО «Гимназия г. Фаниполя» Д.И. Паршин, Д.Д. Папко  
Науч. рук. доц., к.т.н., А.В. Лихачева  
(кафедра промышленной экологии, БГТУ)

### **ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОСТА ИЗ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ОАО «СЛОНИМСКИЙ КАРТОННО-БУМАЖНЫЙ ЗАВОД «АЛЬБЕРТИН»**

На ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин» в процессе формования бумажной массы и промывки технологического оборудования образуются сточные воды с высоким содержанием взвешенных веществ, при очистке которых образуется большое количество осадка – скопа, состоящего из мелкой фракция макулатурного волокна на 90 % и механических примесей на 10 %.

На данный момент, образующийся скоп накапливается на территории предприятия, т.к. не подлежит захоронению. Одним из возможных направлений обращения со скопом является его биокомпостирование с последующим использованием образующегося компоста в качестве компонента улучшающего структуру почвы, входящего в состав почвогрунтов, используемых при рекультивации и т.д.

При выполнении данной работы были изучены требования к осадкам сточных вод и компостам на их основе, предъявляемые к ним в зависимости от области их дальнейшего использования.

Сравнив показатели характеристики скопа с нормативными требованиями был сделан вывод о том, что скоп (осадок сточных вод), полученный при производстве картонно-бумажной продукции на ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин», можно использовать для компостирования. Небольшое количество азота и фосфора не представляет проблем для дальнейшего использования скопа. При использовании скопа в качестве органических удобрений, а также для приготовления компостов необходимо внесение азотных и фосфорных удобрений для корректировки содержания азота и фосфора.

Исходя из выше сказанного данный скоп можно использовать для процесса компостирования, а также для рекультивации земель (карьеров), при смешении с минеральными компонентами, например, строительными отходами.

Так как скоп содержит трудноразлагаемое древесное волокно, то для интенсификации процесса биокомпостирования использовали вещества, находящиеся в свободном доступе и рекомендованные для

компостирования отходов, образующихся на садовых участках: бинарный биопрепарат «Горыныч»; ускоритель созревания компоста «Компостин»; биоактиватор компостирования «Компостелло»; биопрепарат «Экомик Дачный»; биоактиватор «Eхреl»; средство для выгребных ям и септиков «Доктор Робик»; средство для выгребных ям и септиков «Microbes».

Исследования проводили в лабораторных условиях применяя технологическое моделирование, позволявшее воспроизвести процесс биокомпостирования скопа с соблюдением оптимальных технологических параметров.

На первом подготовительном этапе проводили: постановку методик определения состава скопа и компоста; определяли свойства скопа.

На втором этапе исследовали влияние биоактиваторов на интенсивность процесса биокомпостирования. Для этого скоп, смешивали с опилками и биоактиваторами в соотношении 4:1:0,0005. В исследовании использовалось семь биоактиваторов. В качестве биоактиваторов использовались вещества, находящиеся в свободном доступе и рекомендованные для компостирования отходов, образующихся на садовых участках. В данном процессе использовались такие вещества как: бинарный биопрепарат «Горыныч»; ускоритель созревания компоста «Компостин»; биоактиватор компостирования «Компостелло»; биопрепарат «Экомик Дачный»; биоактиватор «Eхреl»; средство для выгребных ям и септиков «Доктор Робик»; средство для выгребных ям и септиков «Microbes».

Всего приготовленных моделей восемь: семь с биоактиваторами и одна с водой – холостая. Приготовленную смесь для компостирования поместили в модельные коробки и с этого момента начался процесс компостирования.

Процесс биокомпостирования протекал при поддержании необходимых условий процесса: смесь перемешивали и увлажняли раствором воды с биоактиватором, раз в две недели. Перемешивание проводилось для аэрации смеси, а увлажнение для поддержания влажности 50–60 %. Процесс компостирования длился около 12 месяцев, в результате которого получился ценный гумифицированный продукт – компост.

По окончанию процесса проводился контроль качества полученного продукта. Готовые компосты анализировались по следующим показателям: влажность; зольность; содержание органического вещества; рН; содержание питательных веществ, таких

как N, P, K.

По полученным результатам исследования, можно сделать вывод о том, что наилучшими биоактиваторами являются ускоритель созревания компоста «Компостин», биоактиватор компостирования «Компостелло», бинарный биопрепарат «Горыныч» и средство для выгребных ям и септиков «Доктор Робик».

Полученные компосты были проанализированы по основным показателям позволяющим определить область их последующего использования, а также была определена их фитотоксичность по [1].

Для проведения исследований выбрали доступные, часто выращиваемые растения, относящиеся к разным семействам:

- укроп (семейство – зонтичные)
- пшеница (семейство – злаки)
- редиска (семейство – капустные; продукт – корнеплод)
- редька масленичная (семейство – капустные; растение-сидерат).

Для проведения исследований создавали модельные установки для определения фитотоксичности. Всего было 9 модельных установок предназначенных для: 1 пробы сравнения, т.е. почвы; 7 проб почв, обработанных компостами, полученными с биоактиваторами; 1 пробы почвы, обработанной компостом, полученным без добавления биоактиватора.

По окончании эксперимента определяли показатели, характеризующие фитотоксичность компостов, а именно:

- всхожимость семян;
- длина ростков
- длина корней;
- биомасса выросших растений.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том что наилучшими биоактиваторами являются биопрепарат «Экомик Дачный», бинарный биопрепарат «Горыныч», средство для выгребных ям и септиков «Доктор Робик», биоактиватор компостирования «Компостелло». Однако полученные компосты не рекомендуется использовать для выращивания злаковых и зонтичных культур.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений».

УДК 681.5

Студ. Н.Н. Бирюкова, Б. В. Сенкевич  
Научн. рук. доц. Д.С. Карпович  
(кафедра автоматизации производственных  
процессов и электротехники, БГТУ)

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Температура является распределенным параметром и часто используемым параметром при управлении технологическим процессом. Изучение процесса теплопроводности, т.е. процесса передачи тепла от одной части тела к другой или от одного тела к другому, находящемуся в соприкосновении с первым, по своей сущности требует применения специального математического аппарата. Процесс теплопередачи, как и всякое физическое явление, происходит во времени и в пространстве и характеризуется (в общем случае) нестационарной пространственно-временной функцией температуры  $f(x, y, z, t)$ , где  $x, y, z$  — пространственные координаты в декартовой системе,  $t$  — время. Совокупность значений температуры по всему объему рассматриваемого тела в отдельный момент времени называется температурным полем.

В теории теплопроводности различают стационарное и нестационарное температурное поле. Стационарное температурное поле — это такое поле, температура которого в любой точке объема не изменяется во времени, а является функцией только пространственных координат. Такое поведение свойственно установившемуся режиму. Нестационарное температурное поле — это поле, температура которого изменяется не только в пространстве, но и с течением времени, и является функцией, как пространственных координат, так и времени. Такое поведение описывает неустановившееся состояние, переходный режим.

Описание процесса теплопроводности, как и многих других физических процессов, может быть осуществлено на основе дифференциальных уравнений в частных производных, называемых уравнениями математической физики.

В общем случае, температурное поле  $T = T(x, y, z, t)$ , соответствующее уравнению

$$T(x, y, z, t) = f(x, y, z, t) \quad (1)$$

является пространственно-распределённым (трёхмерным).

Уравнение теплопроводности или уравнение Фурье:

$$\partial T / \partial t = a \Delta T, \quad (2)$$

где  $a$  — коэффициент температуропроводности, который зависит от физических свойств материалов, а выражение

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad (3)$$

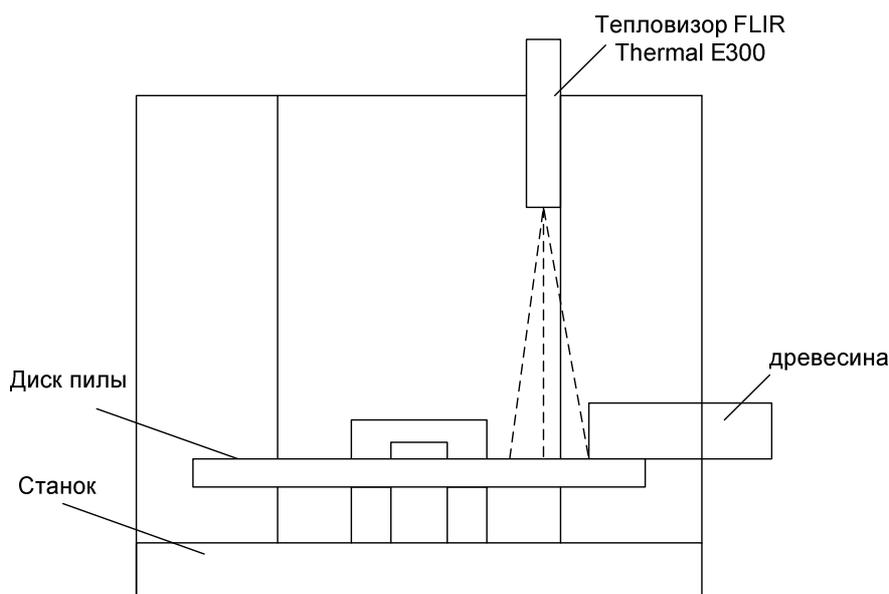
является оператором Лапласа в декартовой системе координат для трёхмерной пространственной области определения температурного поля (1).

При разработке алгоритмов управления встает две задачи, которые приходится решать одновременно: для настройки контуров управления температурой требуется знать динамику канала управления; надо выбрать место контроля. Расчет динамики осложнен необходимостью использования уравнений в частных производных. Задачу облегчают путем проведения серьезных упрощений. На место установки датчика обращают внимания еще меньше.

Были проведены эксперименты, основной целью которого является определения распределения температурного поля на разогретой круглой дисковой пиле.

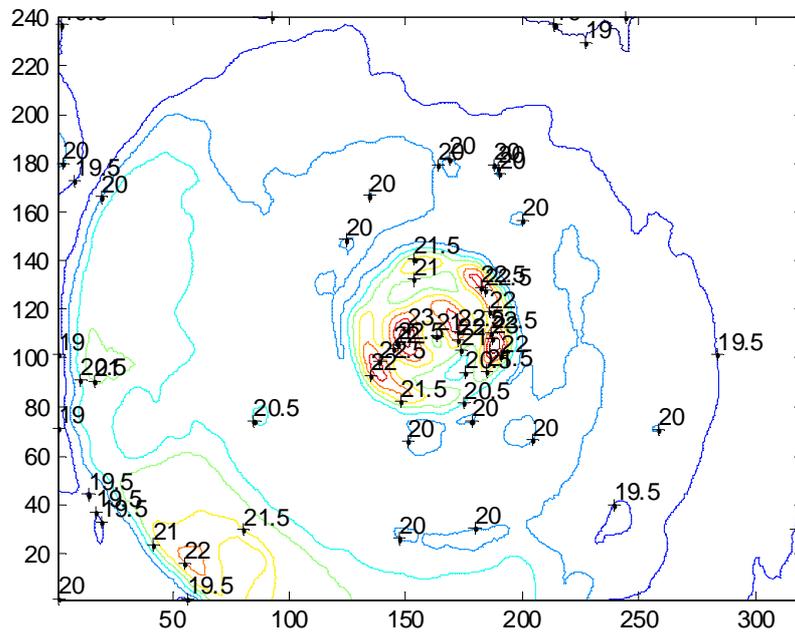
В данной работе исследования тепловыми объектами с распределенными параметрами был произведен эксперимент с нагревающейся круглой дисковой пилой. Он состоит из станка со специальным шпинделем, закрепленной на станке, круглой дисковой пилы. Станок позволяет регулировать частоту вращения 1000-2000 об/мин. Эксперимент проводился при частоте 2000 об/мин (Рисунок 1).

Если увеличить скорость пиления, то пила сильнее греется. Работа проводилась с одинаковой скоростью, для того чтобы стабилизировать температурный режим.

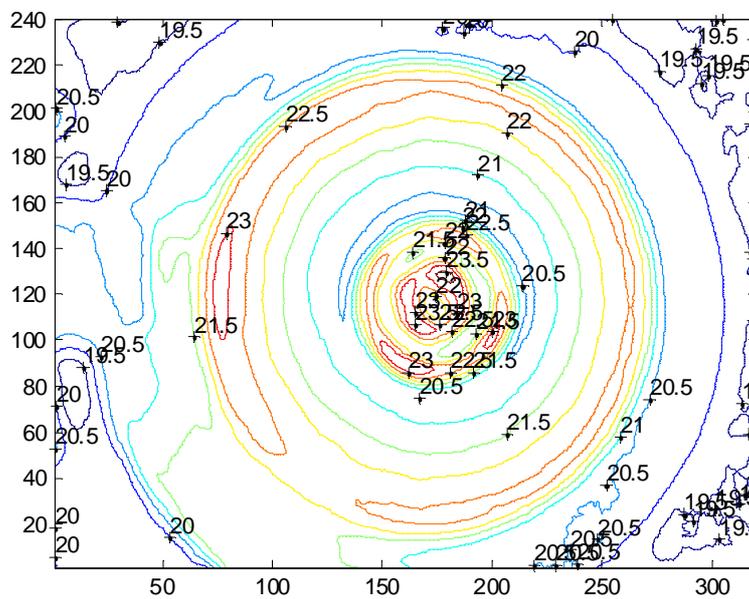


**Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки**

Результаты отдельные экспериментов можно видеть на рисунке 2-3



**Рисунок 2 – Трехмерные линии уровня для массивов данных с метками значений (предварительно сглаженные) дисковой пилы в ее первоначальном состоянии при  $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$**



**Рисунок 3 Трехмерные линии уровня для массивов данных с метками значений (предварительно сглаженные) дисковой пилы в процесса резания**

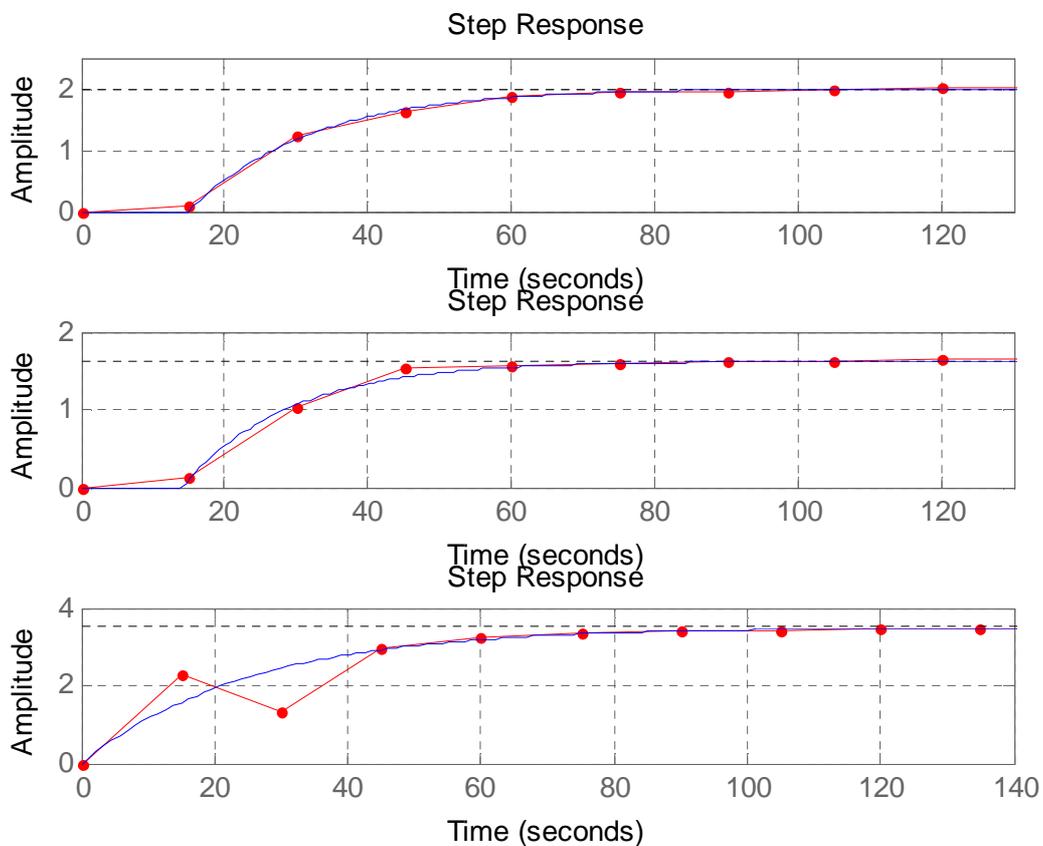
Полученные экспериментальные данные были обработаны в сре-

де Matlab и при помощи метода площадей были найдены передаточные функции (рисунок 4):

$$W = \frac{2}{17p+1} e^{-18p} ;$$

$$W = \frac{1.62}{15p+1} e^{-14p} ;$$

$$W = \frac{3.5}{25p+1} .$$



**Рисунок 4 – Обобщенный нормированный график динамического изменения температуры**

Вывод: В процессе эксперимента было видно, что температура нагрева дисковой пилы во время резания была не высокой. Основной нагрев происходит в зоне резания. Значение температуры при удалении от зоны резания уменьшается. Полученные динамические свойства позволяют утверждать, что инерционность процесса также увеличивается, по мере удаления от зоны резания.

УДК 51-74

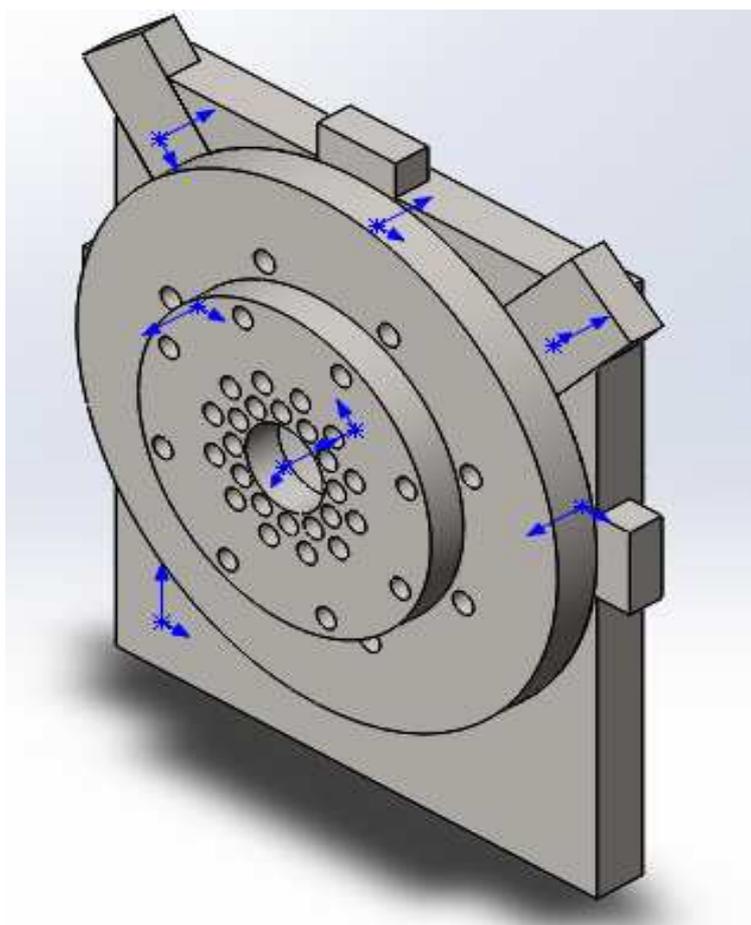
Студ. О.А Токарева, А.А. Ярош  
Науч. рук. проф. С.Г. Тихомиров

(кафедра информационных и управляющих систем ВГУИТ)

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ФИЛЬЕРЫ ОТЖИМНОЙ МАШИНЫ**

В настоящее время отжимные машины могут быть использованы в технологических процессах переработки полиэтиленовых отходов. При этом их нормальная производительность возможна лишь в том случае, если обеспечивается заданная температура фильеры. Такой режим может быть реализован при помощи электронагревателей.

Трехмерная модель фильеры реализована в САПР SolidWorks. Программный комплекс SolidWorks предназначен для обеспечения сквозного процесса проектирования, инженерного анализа и подготовки производства изделий любой сложности.



**Рисунок 1 - Изометрическое изображение фильеры**

Алгоритм работы нагревателей основан на поддержании темпе-

ратуры фильеры в рамках заданных границ. Для реализации такого рода устройств традиционно используются ПИД — регуляторы. Однако для оценки их параметров требуется знание передаточной функции объекта (в нашем случае фильеры). На основе строгих математических методов построение такой передаточной функции невозможно. Это связано с тем, что температурные поля в фильере подчиняются закону Фурье, математическая запись которого представляет собой дифференциальное уравнение в частных производных. Сильно затрудняет решение этих уравнений необходимость учета конструкции устройства, свойств материалов из которых изготовлены отдельные элементы машины. В работе приведена методика, позволяющая на основе моделирования тепловых полей в машине построить передаточную функцию объекта и на этой основе синтезировать регулятор.

Процесс распределения теплового поля в фильере задается уравнением:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

Начальные условия:

$$t(u_i) = t_H, \quad \forall u_i \in N,$$

где

$$u_i = (x(i), y(i), z(i))$$

– узлы сетки;  $x_i, y_i, z_i$  – координаты узла сетки;  $N$  – множество узлов сетки;  $t_H$  – начальная температура 20° С.

Граничное условие второго рода задается плотностью теплового потока в каждой точке поверхности тела для любого момента времени.

$M$  – множество узлов сетки, которые размещены на поверхности тепловыделяющего элемента.

$$u_i \in M,$$

то  $S(u_i) = q$  – плотность теплового потока, Вт/м<sup>3</sup>.

$$Q = \frac{P}{F},$$

где  $P$  – тепловая мощность, Вт;  $F$  – площадь, м<sup>2</sup>.

Граничное условие третьего рода задается температурой среды, окружающей тело, и законом теплопередачи между поверхностью тела и окружающей среды.

$$u_i \in L,$$

то

$$\alpha(t_{cp} - t(u)) = -\frac{\partial t}{\partial u};$$

$$\alpha(t_{cp} - t(u_i)) = -\frac{t(u_i) - t(u_{i-1})}{\Delta y},$$

где  $L$  – множество граней конструкции, с которых имеет место конвективный теплообмен;  $\alpha$  – коэффициент конвективной теплоотдачи он характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой.

Решение задачи будем искать с помощью метода конечных разностей.

$$\frac{t_{i,j,k}(\tau + \Delta\tau) - t_{i,j,k}(\tau)}{\Delta\tau} =$$

$$= a \left( \frac{t_{i-1,j,k}(\tau) - 2t_{i,j,k}(\tau) + t_{i+1,j,k}(\tau)}{\Delta x^2} + \frac{t_{i,j-1,k}(\tau) - 2t_{i,j,k}(\tau) + t_{i,j+1,k}(\tau)}{\Delta y^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{t_{i,j,k-1}(\tau) - 2t_{i,j,k}(\tau) + t_{i,j,k+1}(\tau)}{\Delta z^2} \right).$$

Преобразуем

$$t_{i,j,k}(\tau + \Delta\tau) =$$

$$= a \left( \frac{t_{i-1,j,k}(\tau) - 2t_{i,j,k}(\tau) + t_{i+1,j,k}(\tau)}{\Delta x^2} + \frac{t_{i,j-1,k}(\tau) - 2t_{i,j,k}(\tau) + t_{i,j+1,k}(\tau)}{\Delta y^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{t_{i,j,k-1}(\tau) - 2t_{i,j,k}(\tau) + t_{i,j,k+1}(\tau)}{\Delta z^2} \right) \Delta\tau + t_{i,j,k}(\tau)$$

Решение данной задачи осуществляется при помощи встроенной в систему SolidWorks подсистемы Simulation. Программное обеспечение автоматически создает комбинированную сетку для твердого тела.

Для того чтобы решение по разностной схеме было устойчиво, необходимо выбирать интервалы дискретизации из следующего условия:

$$\Delta\tau \leq \frac{\delta^2}{4a}$$

$\delta$  – длина проводимой части.

График зависимости температуры в выбранной контрольной точке от времени (рисунок 2).

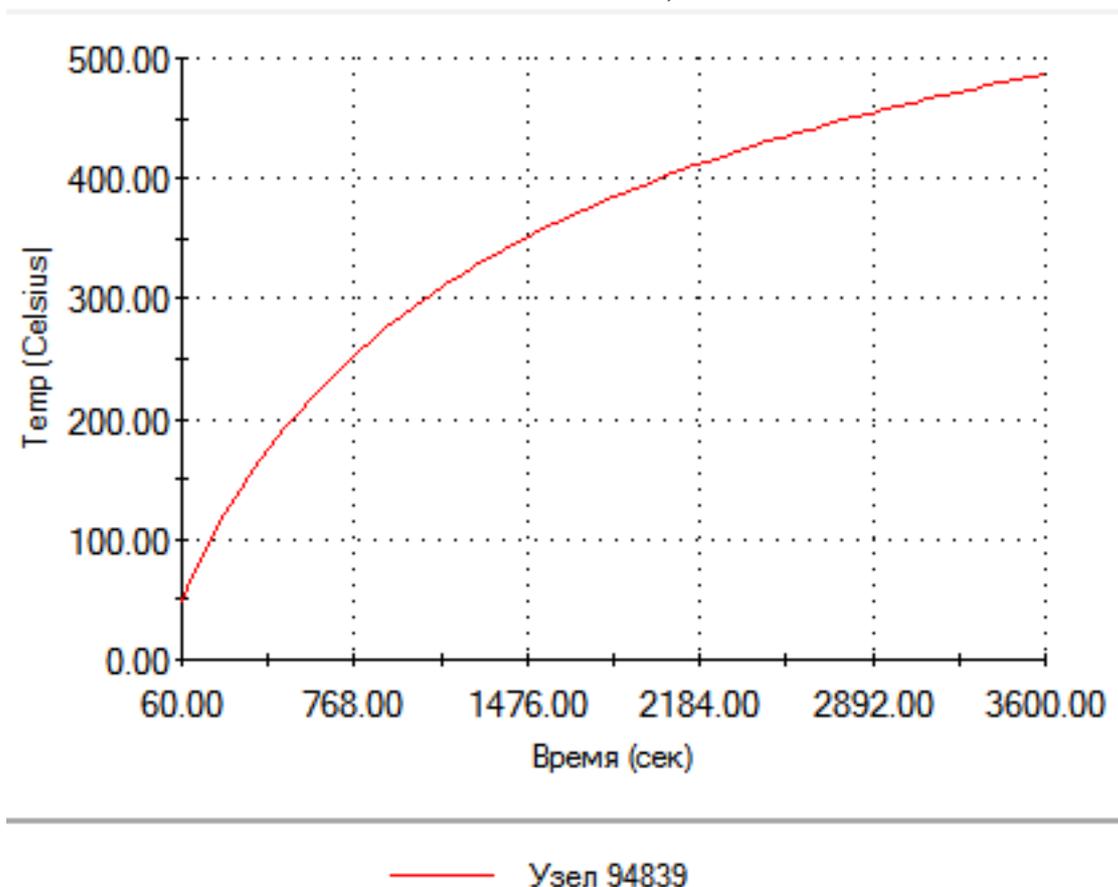


Рисунок 2 - Термическая эпюра

В интерактивной среде Matlab была произведена идентификация объекта управления. Модель объекта управления искали в виде апериодического звена первого порядка.

Полученная передаточная функция имеет вид:

$$W(s) = \frac{0,9}{1 + 3195,5s}$$

Данная модель позволяет оценить температуру в любой точке фильтры в ходе ее нагрева электронагревательных элементов. Полученные результаты могут быть использованы при синтезе цифрового закона регулирования.

УДК 681.5

Студ. М.Д. Ельшанов, М. С. Жукович  
Науч. рук., асс. Н.М. Олиферович

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ НЕФТИ НА МОЗЫРСКОМ НПЗ**

Источник информации: ОАО «Мозырский НПЗ», секция С-100  
ЛК-бу № 2.

Цель процесса – получение питательной воды температурой  $T = 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которая достигается путём подогрева её в две стадии: в теплообменнике (от  $104\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и экономайзере (от  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Участок состоит из кожухотрубчатого теплообменника (от  $104\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и экономайзера (от  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Питательная вода существующими насосами из деаэратора при давлении 5,1 МПа и температуре  $104\text{ }^{\circ}\text{C}$  направляется в проектируемый теплообменник для подогрева до температуры  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Подогрев осуществляется гидроочищенным вакуумным газойлем, поступающим от существующего теплообменника. Слив питательной воды из теплообменника производится в существующую сеть канализации.

После проектируемого теплообменника питательная вода с температурой  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  распределяется на два потока:

- в существующий барабан энерготехнологического котла;
- во вновь устанавливаемый экономайзер, где за счет тепла отходящих дымовых газов от печей секции С-100 нагревается до температуры  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Далее, подогретая вода подается в существующий барабан котла утилизатора.

Подача дымовых газов в экономайзер производится от существующего коллектора дымовой трубы. Дымовые газы, охлажденные в экономайзере от температуры  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  дымососом возвращаются в существующий коллектор дымовой трубы секции С-100. Регулирование температуры питательной воды на выходе из экономайзера производится направляющим аппаратом, установленным перед дымососом.

Из экономайзера питательная вода с температурой  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$  поступает в существующий барабан котла-утилизатора для выработки пара давлением 4,0 МПа по существующей схеме.

Полученный в котле утилизаторе перегретый пар направляется в существующую сеть установки ЛК-бу № 2 к существующим потребителям. Полученный в энерготехнологическом котле перегретый пар подается в заводскую сеть пара с давлением 4,0 МПа.

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).

В рамках проводимой модернизации проектом предусматриваются следующие решения:

автоматический контроль и управление технологическими параметрами устанавливаемого экономайзера;

автоматический контроль и управление технологическими параметрами устанавливаемого теплообменника;

автоматическое управление электроприводами технологического оборудования (дымососа, задвижек).

Подключение предусматриваемых сигналов контроля и управления, в границах модернизации технологической части, предусматривается на резервные каналы существующей автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), построенной на базе микропроцессорного программно-технического комплекса (ПТК) Freelance 2000, производства компании АВВ.

Процессы теплообмена – это сложные физико-химические системы, имеющие двойственную детерминированную - стохастическую природу, переменные в пространстве и во времени. В ходе протекания процесса в каждой точке происходит перенос импульса, энергии, массы. Весь процесс в целом протекает в аппарате с конкретными геометрическими характеристиками, с теплофизическими параметрами теплоносителей, оказывающими в свою очередь влияние на характер этого процесса.

Поэтому при автоматизации теплообменных аппаратов необходимо в первую очередь рассмотрение их как объектов управления с учетом технологических режимов работы и разработка динамической модели процесса теплообмена

данных аппаратах с учётом их специфики.

Для управления такими объектами могут применяться различные методы управления. Наиболее распространёнными среди них являются следующие: локальные, каскадные и АСР инвариантных возмущений. Каскадные АСР состоят из двух контуров регулирования, при этом основной контур формирует задание вспомогательному контуру, обеспечивает управление заданным процессом по вспомогательному параметру. Данные АСР применяются для объектов с большим запаздыванием и подвержены незначительным возмущениям. АСР инвариантных возмущений применяются для регулирования объектов, у которых на регулируемую величину существенное влияние оказывает возмущающее воздействие, вызывающее нежелательное отклонение регулируемой величины от заданного значения. Основной целью таких АСР является компенсация данных возмущающих воздействий с применением компенсаторов, по этому основанию анализа сгустителя как объекта управления можно сделать вывод, что наиболее эффективным в данных условиях является применение АСР инвариантных возмущений.

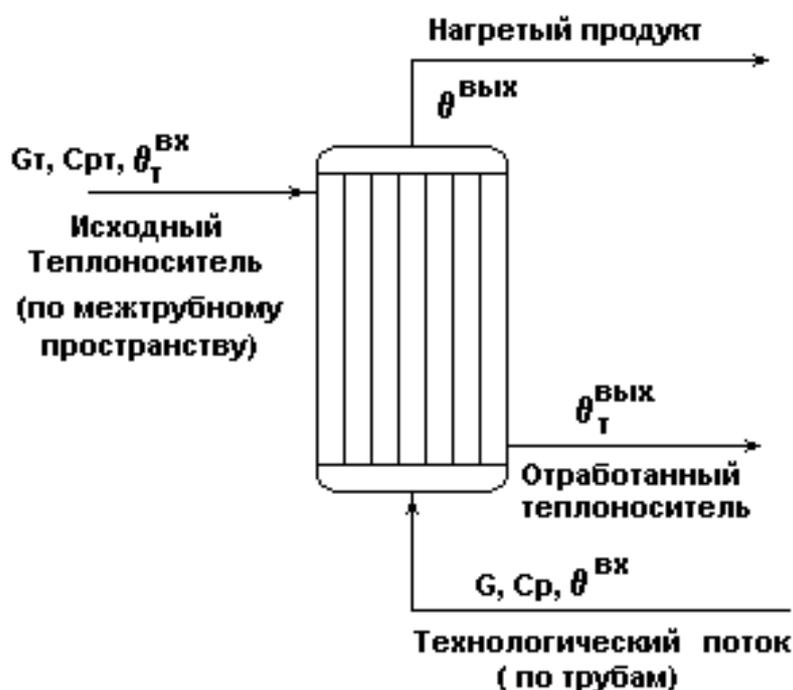


Рисунок 1 - Схема кожухотрубного теплообменника

Технологический процесс: нагревание технологического потока  $G$  до температуры  $\theta_{\text{вых}}$  с помощью теплоносителя  $G_{\text{т}}$  с неизменяющимся агрегатным состоянием.

Показатель эффективности:  $\theta_{\text{вых}}$ .

Цель управления: поддержание  $\theta_{\text{вых}} = \theta_{\text{зд}}$ .

Синтез системы автоматического управления технологическим процессом включает в себя нахождение передаточных функций всех звеньев системы управления и построения системы управления.

Для поддержания уровня растворов используется насос с электроприводом Lowara PLM112B14S2/355.

Насос имеет следующие характеристики:

- мощность – 5.5 кВт;
- КПД – 89.5 %;

$$W_n(p) = \frac{k_n}{T_n p + 1} = \frac{0,079}{0,2 p + 1},$$

где  $T_n$  – постоянная времени насоса, с;  $k$  – статический передаточный коэффициент насоса.

Постоянную времени для насоса принимаем  $T_n = 0,2$  с. Коэффициент передачи насоса определяется в статическом режиме как отношение номинальной производительности насоса  $Q_n$  к номинальной скорости электродвигателя насоса  $\omega_n$ . Номинальная производительность  $Q_n = 7$  м<sup>3</sup>/мин, (0,12 м<sup>3</sup>/с); номинальная скорость  $\omega_n = 1450$  об/мин, (151,84 рад/с).

Передаточная функция асинхронного электродвигателя

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{k_{\text{дв.}}}{T_{\text{дв}} p + 1} = \frac{3,034}{0,87 p + 1},$$

где  $T_{\text{дв}}$  – постоянная времени двигателя, с;  $k_{\text{дв}}$  – статический передаточный коэффициент асинхронного электродвигателя;

Для измерения температуры применяем датчик Овен ДТС014-50М.

Датчик имеет следующие характеристики:

- диапазон выходных сигналов – 4÷20 мА;
- предельная температура – 250 °С.

Получим передаточную функцию датчика:

$$W(p) = \frac{k}{T_s p + 1} = \frac{1}{67,3 p + 1},$$

где  $T_s$  – электрическая постоянная времени датчика, с;  $k$  – коэффициент передачи датчика.

Вывод: таким образом проектирование кожухотрубчатого теплообменника и экономайзера поможет снизить затраты на охлаждение отходящих газов и повысить выработку пара котлом-утилизатором и энерготехнологическим котлом за счет дополнительного нагрева питательной воды.

УДК 681.5

Студ. В.Н. Бирюкова, А.А. Гармаза

Научн. рук. доц. Д.С. Карпович

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ, ПАРАМЕТРЫ КОТОРЫХ ЗАВИСЯТ ОТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КООРДИНАТЫ**

При исследовании динамических систем достаточно часто пренебрегают их размерами, считая, что речь идет о некоторых материальных точках, обладающих определенными физическими свойствами, но не имеющих геометрических размеров. В то же время, существует широкий класс объектов, для которых такое пренебрежение приводит к качественно неверным результатам моделирования. Изучение подобных объектов – с распределенными параметрами – должно осуществляться с учетом их пространственной протяженности.

Поведение во времени типовых объектов, рассматриваемых в «классической» теории автоматического управления, характеризуется совокупностью конечного числа величин, и их описание в той или иной мере строится на системе конечного числа обыкновенных дифференциальных уравнений. Подобные объекты называются объектами с сосредоточенными параметрами.

Описание таких объектов не учитывает влияние пространственной протяженности в пределах конечных геометрических размеров рассматриваемого объекта и его характеристика.

В то же время существует класс объектов, которые принципиально могут быть отнесены к объектам с сосредоточенными параметрами без потери их качественных особенностей. Это объекты, характеристики которых зависят не только от времени, но и от пространственных координат, изменяющихся в пределах области, заданной геометрическими размерами тела.

К таким объектам относится большое число реальных технологических процессов, поведение которых описывается на действии физических полей различной природы (температурных, электромагнитных полей, полей потенциалов, концентраций и т.д.).

В этом случае принято говорить не о некотором векторе управляемых величин, зависящих от одной переменной – времени  $t$ , а о некоторой функции состояния, зависящей и от времени, и от пространственных координат.

Данная статья посвящена исследованию распределения температурных полей режущего элемента при различных управляющих воз-

действиях по граничным условиям.

Основными формами представления распределенных объектов (систем), как и в случае систем с сосредоточенными параметрами, являются представление в виде дифференциальных уравнений в частных производных, в виде передаточных функций, временных и частотных характеристик.

Отличительной особенностью распределенных систем является наличие пространственных составляющих в сигнале входа и выхода.

Температура является распределенным параметром и часто используемым параметром при управлении технологических процессов. Изучение процесса теплопроводности, т.е. процесса передачи тепла от одной части тела к другой или от одного тела к другому, находящемуся в соприкосновении с первым, по своей сущности требует применения специального математического аппарата.

Процесс теплопередачи, как и всякое физическое явление, протекает во времени и в пространстве и характеризуется (в общем случае) нестационарной пространственно-временной функцией температуры  $f(x, y, z, t)$ , где  $x, y, z$  — пространственные координаты в декартовой системе,  $t$  — время. Совокупность значений температуры по всему объему рассматриваемого тела в отдельный момент времени называется температурным полем. В теории теплопроводности различают стационарное и нестационарное температурное поле. Стационарное температурное поле — это такое поле, температура которого в любой точке объема не изменяется во времени, а является функцией только пространственных координат. Такое поведение свойственно установившемуся режиму. Нестационарное температурное поле — это поле, температура которого изменяется не только в пространстве, но и с течением времени, и является функцией, как пространственных координат, так и времени. Такое поведение описывает неустановившееся состояние, переходный режим. Описание процесса теплопроводности, как и многих других физических процессов, может быть осуществлено на основе дифференциальных уравнений в частных производных, называемых уравнениями математической физики.

В общем случае, температурное поле  $T = T(x, y, z, t)$ , соответствующее уравнению

$$T(x, y, z, t) = f(x, y, z, t) \quad (1)$$

является пространственно-распределённым (трёхмерным).

Уравнение теплопроводности или уравнение Фурье:

$$\partial T / \partial t = a \Delta T, \quad (2)$$

где  $a$  — коэффициент температуропроводности, который зависит от физических свойств материалов, а выражение

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad (3)$$

является оператором Лапласа в декартовой системе координат для трёхмерной пространственной области определения температурного поля (1).

Задачи расчета систем с распределенными параметрами (СРП) заключаются в расчете требуемой величины, значение которой зависит от пространственной координаты. Для аналитического решения таких задач используется математический аппарат теории СРП и уравнения математической физики. Основной особенностью СРП является использование вместо обыкновенных дифференциальных уравнений (для сосредоточенных систем) дифференциальных уравнений в частных производных.

В основе метода площадей лежит предположение, что объект может быть описан линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами, а его нормированная (приведенная к 1) переходная характеристика может быть аппроксимирована передаточной функцией вида:

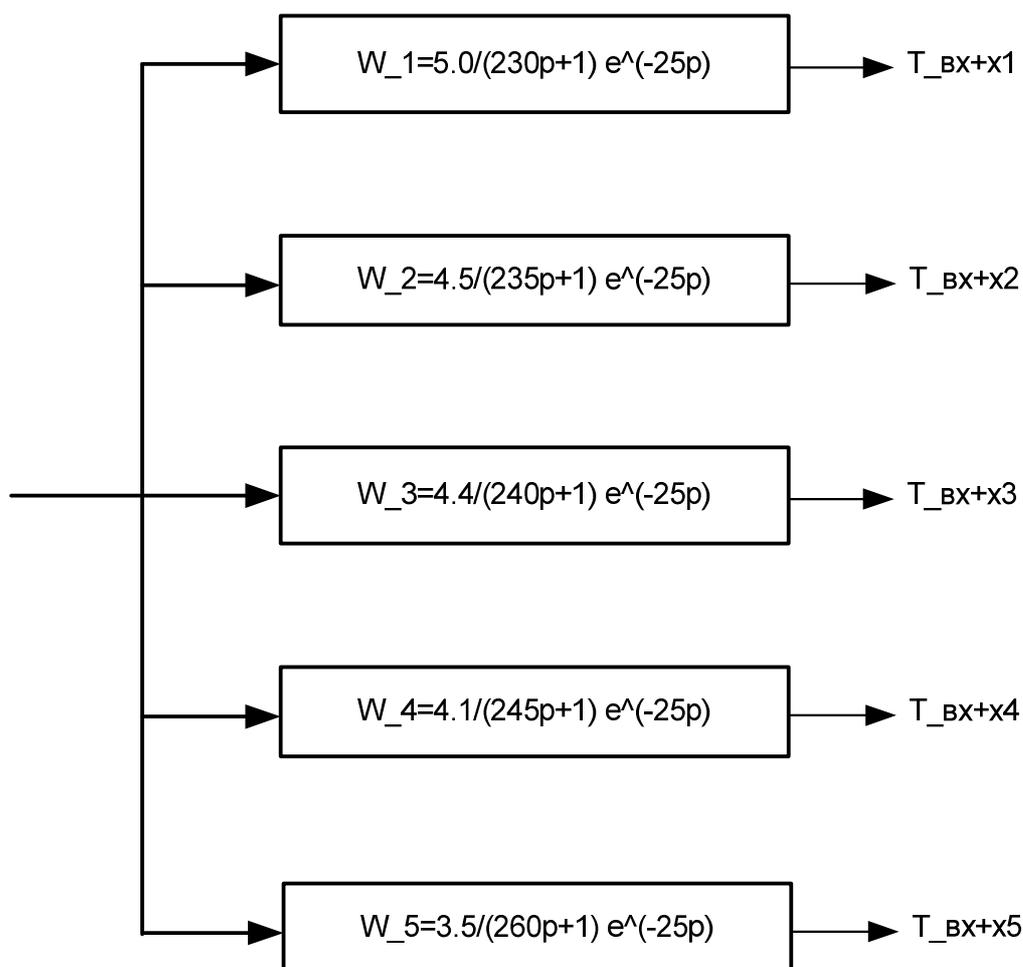
$$W^0(p) = \frac{\sum_{i=1}^m b_i p^i + 1}{\sum_{i=1}^n b_i p^i + 1}, \quad (4)$$

Порядок числителя в выражении (4) всегда меньше или равен порядку знаменателя. Для нахождения явного вида выражения (4) для конкретного технологического объекта необходимо определить значения коэффициентов  $a_i$  и  $b_i$  различными численными методами (метод прямоугольников, метод трапеций и др.), а также значения степеней полиномов  $n$  и  $m$ .

Переход от нормированной передаточной функции к обычной осуществляется путем ее умножения на коэффициент передачи  $K = h(\infty)/x(\infty)$

$$W(p) = K \cdot W^0(p), \quad (5)$$

Нахождение общей передаточной функции объекта, у которой величины коэффициентов усиления, постоянная времени и величина запаздывания зависят от координаты  $x$ , осуществляется путем рассмотрения 5 разных блоков, каждый из которых характеризует изменение температуры в своих собственных точках.



**Рисунок 4 – Обобщенный нормированный график динамического изменения температуры**

Аппроксимируем и находим усредненные коэффициенты передач, постоянные времени и величины запаздывания, которые линейно зависят от координаты  $x$  – расстояние от зоны нагрева (зоны резания) до точки измерения.

Таким образом, получаем передаточную функцию объекта в которой присутствуют две координаты: время в виде оператора Лапласа и координата  $x$ , линейная зависимость:

$$W_{об}(p) = \frac{(4.9697 - 0.0246 \cdot x)}{(228.97 + 0.4498 \cdot x)p + 1} e^{-25p}$$

где  $x$  – линейная координата зависящая от длины рубильного ножа.

УДК 621.3.072.6

Студ. Н.П. Морозов, М.О. Штраух  
Науч. рук. доц. О.И. Александров,  
ст. преп. А.А. Лялько

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ТРАНЗИТЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО МЕЖСИСТЕМНЫМ ЛЭП**

С помощью потоков энергии по межсистемным линиям электропередачи (МЛЭП) можно решить целый ряд задач, среди которых наиболее важными являются: а) улучшение использования энергетических ресурсов и генерирующих мощностей; б) взаимопомощь энергосистем; в) перераспределение нагрузок электростанций; г) питание потребителей на трассе МЛЭП.

При условии сохранения заданной частоты межсистемный поток активной мощности может возникнуть или измениться только за счет встречного изменения режима потребления или генерирования электроэнергии, а также за счет различных комбинаций этих изменений.

Если изменится нагрузка только одной какой-либо станции, то возникнет межсистемный поток при одновременном отклонении параметров электроэнергии от заданной.

Основные преимущества объединения энергосистем – это снижение суммарного максимума нагрузки и улучшение использования резерва. Снижение максимума возникает из-за того, что некоторые локальные повышения нагрузки против среднего уровня в той или иной системе не совпадают, а оказываются сдвинутыми по времени. Если происходит объединение двух энергосистем, то снижение суммарного максимума нагрузки за счет регулярных и нерегулярных колебаний нагрузки составляет примерно 2-3% от суммы максимумов объединяемых систем. При увеличении числа совместно работающих агрегатов происходит: уменьшение размера резерва; снижение максимума нагрузки; освобождение резервных мощностей.

Уменьшение размера оперативного резерва за счет объединения энергосистем на  $\Delta N_{рез}$ , по сравнению с суммарным резервом при раздельной работе систем позволяет на столько же уменьшить установленную мощность в объединении. Совместное действие обоих факторов приводит к уменьшению установленной мощности объединения на следующее значение:

$$\Delta N_0 = (\Delta P + \Delta p) + \Delta N_{рез}$$

Экономический эффект от снижения капиталовложений за счет уменьшения установленной мощности станций при некотором повы-

шении за счет сооружения МЛЭП и усиления примыкающих к ним внутрисистемных ЛЭП является весьма существенным. Только распределив нагрузку между всеми тепловыми станциями объединения систем по правилу равенства удельных приростов, можно установить оптимальный режим, то есть режим минимума суммарных эксплуатационных затрат. При возникновении или изменении межсистемного энергопотока происходят изменения токораспределения в транзитных сетях обеих систем. Межсистемные перетоки мощности имеют место: при покупке/продаже электроэнергии (ЭЭ) объединенной энергетической системы (ОЭС); при осуществлении межгосударственного транзита ЭЭ. Существуют следующие варианты примыкания МЛЭП к энергосистемам: присоединение МЛЭП к шинам одной из существующих станций; присоединение к шинам одной из существующих подстанций основной электрической схемы энергосистемы; присоединение к специально сооруженной подстанции.

Режим наименьших потерь в МЛЭП не соответствует наименьшим суммарным электрическим потерям в объединении, так как в некоторых случаях наличие межсистемного энергопотока создает такое благоприятное выравнивание нагрузок внутрисистемных участков МТ, что это компенсирует возрастание потерь в МЛЭП.

Необходимость межсистемного энергопотока чаще всего решается не с точки зрения загрузки внутрисистемных ЛЭП, а рационального использования ресурсов, технико-экономическими показателями и обеспечением бесперебойного производства энергии. Существует возможность снижения суммарных электрических потерь в объединении систем, за счет улучшения токораспределения при создании дополнительных сетевых связей, что способствует уменьшению суммарных потерь. Регулировать потери можно многими способами: регулированием напряжения в узлах; отключать ветви; отключать узлы; реверсировать поток и т. д. Каждое из этих действий по-своему влияет на потери.

Расчеты производились в программе RastrWin3.

Расчетные модули: расчет установившихся режимов электрических сетей произвольного размера и сложности, любого напряжения (от 0.4 до 1150 кВ); полный расчет всех электрических параметров режима (токи, напряжения, потоки и потери активной и реактивной мощности во всех узлах и ветвях электрической сети); проверка исходной информации на логическую и физическую непротиворечивость; эквивалентирование электрических сетей; оптимизация электрических сетей по уровням напряжения, потерям мощности и распределению реактивной мощности; структурный анализ потерь мощности – по их характеру, типам оборудования, районам и уровням напряжения; проведение

серийных (многовариантных расчетов) по списку возможных аварийных ситуаций; моделирование отключения ЛЭП, в том числе однофазного, и определение напряжения на открытом конце и другие.

В данном эксперименте по выявлению суммарных активных и реактивных потерь в энергосистеме Республики Беларусь на примере гипотетической схемы, было изменено напряжение в узлах расположенных на территории Республики Беларусь, которые связаны с узлами, расположенными за границей. Это связано с тем, что основной поток электроэнергии на территорию республики поступает из-за границы. Следовательно, для анализа потерь, рациональнее всего манипулировать именно этими узлами, так как через них проходят большие потоки электроэнергии. В данный момент номинальное напряжение в узлах установлено в 330В. Для эксперимента номинальное напряжение было изменено в пределах 10% в большую и меньшую стороны. Как итог, наименьшие потери, реактивные и активные, выявлены при уменьшении напряжения на всех узлах, а наибольшие – при увеличении напряжения в узле «Полоцк + ТЭЦ-14».

**Таблица – Потери при отключении внешних**

	$\Sigma P_n$	$\Sigma P_r$	$\Sigma \Delta P$	$\Sigma \Delta Q$
Базовый режим	4682,7	5047,8	365,15	2347,94
Отключение 2-х ЛЭП из РФ (Витебск – Талашкино, Рославль – Кричев)	Недопустимое снижение напряжения в узле 6 (Кричев)			
Отключение всех ЛЭП из РФ	Недопустимое снижение напряжения в узле 6 (Кричев)			
Отключение всех ЛЭП из Украины	4603,7	4885	281,32	1825,15
Отключение всех ЛЭП из Прибалтики	4552,7	4764,2	211,48	1346,11
Полный автономный режим РБ	3690,9	3837,7	146,74	935,87
Полный автономный режим с работающей ЛЭП-707	3690,9	3882,2	191,32	1160,51
Отключение только ЛЭП-707	4682,7	5046,8	364,12	2338,38
Отключение всех ЛЭП из РФ и Кричев	3910,2	4281	370,84	2374,69

Суммарная нагрузка в энергосистеме Республики Беларусь, при изменении номинального напряжения на 10 % в большую и меньшую стороны, не изменяется. Суммарная же генерация имеет тенденцию незначительно изменяться. Так, при расчетах, максимальная суммарная генерация выявлена в узле «Полоцк + ТЭЦ-14» и узле «Витебск» при напряжении 363 В. При этом, она не превышает значений, которые соответствуют стандартному напряжению (330 В) в этих узлах. В свою очередь минимальные суммарные генерации выявлены в узлах «Мозырь + ТЭЦ-24» и «Гомель». При этом в узле «Мозырь + ТЭЦ-24» он

принимает наименьшее значение при увеличении номинального напряжения до 363 В, а в узле «Гомель» - при стандартном напряжении.

Потери при отключении внешних источников представлены в таблице 1

Из расчетов видно, что наименьшие значения потерь будут в случае полного автономного режима Республики Беларусь. В первую очередь это связано с тем, что при отключении внешних перетоков суммарные нагрузки и генерации уменьшаются, так как уменьшается количество поступающей энергии, следовательно уменьшаются и потери электроэнергии.

Расчет потерь при реверсивном движении тока представлен в таблице 2.

**Таблица 2 – потерь при реверсивном движении тока**

Ветви	Суммарные потери во всей системе (МВт) при следующих режимах	
	Нормальном	Реверсе
ЧАЭС – Мозырь+ТЭЦ 24	363,5	248,03
Чернигов – Гомель	363,49	436,28
Кричев – Рославль	364,03	351,67
Талашкино – Витебск	364,01	336,72
Новосокольники – Полоцк+ТЭЦ 14	365,1	392,37
Игналинская – Сморгонь, ТЭЦ 5, Полоцк+ТЭЦ 14	Недопустимое снижение напряжения на Игналинской АЭС	
Вильнюс – Молодечно	363,47	326,97
Алитус – Гродно	365,02	356,59
Переток из Украины в РБ	363,49	436,28
Переток из РБ в Украину	363,5	248,03
Переток из РБ в РФ (не учитывается линия Смоленская АЭС – Белорусская)	364,01	336,72
Переток из РФ в РБ (не учитывается линия Смоленская АЭС – Белорусская)	365,02	377,54
Переток из Прибалтики в РБ	365,02	356,59
Переток из РБ в Прибалтику	Недопустимое снижение напряжения в Алитусе	
Переток из РБ в соседние страны	Недопустимое снижение напряжения в Игналинской АЭС	
Переток из соседних стран в РБ	363,47	423,97

УДК 621.314

Студ. А. Д. Авсейко, А. К. Пустовалов

Науч. рук. доцент Н. П. Коровкина

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ**

В условиях дефицита и непрерывного роста стоимости электрической энергии большое значение приобретает использование энерго-сберегающего эффективного электрооборудования, в том числе и электроосветительного.

Целью данной работы является анализ и расчет эффективности замены осветительного оборудования с люминесцентными светильниками на энергосберегающее оборудование с применением светодиодных ламп в жилом доме.

Рассмотрим расчет экономии электроэнергии при замене светильников в жилом доме на некотором примере.

Пусть на первом этаже снаружи перед входной дверью установлен светильник типа ФМ с лампой 60Вт, который можно заменить на антивандальный светильник типа LED со светодиодной лампой 6Вт с встроенным оптическим датчиком. В коридорах подъезда и на лифтовых площадках люминесцентные светильники типа ЛПО с лампами по 40Вт можно заменить на светодиодные светильники типа СПБ с лампами по 16Вт со встроенными оптико-акустическими датчиками Galad, которые срабатывают на звук шагов или шум дверей, а при достаточном дневном свете из окон не включаются вообще. Предположим, что для нормального освещения нужно 47 таких светильников.

На лифтовой площадке и в холле первого этажа светильники с люминесцентными лампами мощностью по 80Вт могут быть заменены на светодиодные антивандальные светильники типа ДПО03-6X1-001-УХЛЧ со светодиодными лампами типа Т8 мощностью 10Вт, которые разработаны конструкторско-производственным унитарным предприятием «ЦКБ» Национальной академии наук Беларуси. При этом три лампы типа 600x600 можно заменить на 8 светодиодных светильников. В лифтах светильники с лампами E27 мощностью по 60Вт целесообразно заменить на антивандальные светильники типа LED с датчиком движения и звука, устойчивые к механическим вибрациям, со светодиодными лампами 6Вт.

Эффективность модернизации освещения можно оценить по экономии электроэнергии в подъезде жилого дома.

Определение потребляемой электроэнергии при работе освети-

тельного оборудования со светильниками с люминесцентными лампами или светильниками с лампами накаливания до модернизации можно определить по формуле:

$$W_c = \sum n_c \cdot P_{c.ном} \cdot t_c,$$

где  $n_c$  – количество осветительных приборов одинаковой мощности, шт;  $P_{c.ном}$  – номинальная мощность одинаковых ламп, Вт;  $t_c$  – число часов работы в году, час.

Потребление электроэнергии при работе энергосберегающего осветительного оборудования со светодиодными лампами рассчитывается по формуле:

$$W_m = \sum n_m \cdot P_{m.ном} \cdot t_m,$$

где  $n_m$  – количество энергосберегающих ламп одинаковой мощности, шт;  $P_{m.ном}$  – номинальная мощность энергосберегающих ламп, Вт;  $t_m$  – число часов работы в году, час.

Общее число часов работы светильников в году определим примерно в 8640 часов, для лифта пусть это число равно 1080 часов.

Поскольку количество светильников и их параметры могут меняться, то целесообразно для расчета экономии электроэнергии при различных вариантах светильников воспользоваться компьютером, на котором следует разрешить использование макросов. В текстовом документе, подготовленном в приложении Word, например, в техническом задании на проведение работ, можно расположить кнопку:

### Расчет экономии электроэнергии

При нажатии на кнопку начнет свою работу программа, составленная на языке Visual Basic for Applications для приложения Word, фрагмент которой представлен на рис.1.

```
ThisDocument.TextBox7.Text = a2
a3 = Val(TextBox17.Text) * Val(TextBox18.Text) * Val(TextBox23.Text) / 1000
ThisDocument.TextBox8.Text = a3
a4 = Val(TextBox19.Text) * Val(TextBox20.Text) * Val(TextBox24.Text) / 1000
ThisDocument.TextBox9.Text = a4
c = a1 + a2 + a3 + a4
ThisDocument.TextBox10.Text = c
ThisDocument.TextBox110.Text = b - c
UserForm1.TextBox25.Text = b - c
End Sub
```

Рисунок 1 – Фрагмент программы для расчета экономии электроэнергии

На экране появится форма для ввода исходных данных (рис. 2).

The screenshot shows a software interface for calculating electricity savings. It is divided into two main sections: 'Старые светильники' (Old lamps) and 'Новые светильники' (New lamps). Each section contains a table of input data. Below the tables is a 'Результаты' (Results) button and a field for 'Годовой экономический эффект' (Annual economic effect) in 'кВт\*ч/год' (kWh/year). A 'Выход' (Exit) button is also present.

Старые светильники				
ФМ	Мощность	60	Количество ламп	1
			Количество часов	8640
ЛПО	Мощность	40	Количество ламп	47
			Количество часов	8640
600x600	Мощность	80	Количество ламп	3
			Количество часов	8640
ЛПО	Мощность	60	Количество ламп	3
			Количество часов	1080
Новые светильники				
LED	Мощность	6	Количество ламп	1
			Количество часов	8640
СПБ	Мощность	16	Количество ламп	47
			Количество часов	8640
ДПО03-6X1	Мощность	10	Количество ламп	8
			Количество часов	8640
LED	Мощность	6	Количество ламп	3
			Количество часов	1080

Результаты

Годовой экономический эффект  кВт\*ч/год

Выход

Рисунок 2 – Форма для расчета экономии электроэнергии

После ввода исходных данных на форме и нажатия кнопки «Результаты» потребление электроэнергии до модернизации будет приведено в полях последнего столбца таблицы 1.

Таблица 1 – Потребление электроэнергии до модернизации

Тип светильника	$P_{с.нрм}$ , Вт	$n_c$ , шт	$t_c$ , час	$W_c$ , кВт·ч/год
ФМ	60	1	8640	518,4
ЛПО	40	47	8640	16243,2
600x600	80	3	8640	2073,6
ЛПО	60	3	1080	194,4
Итого				19029,6

Результаты расчета потребления электроэнергии после модернизации появятся в полях последнего столбца таблицы 2.

Также будет рассчитан суммарный годовой экономический эффект в соответствующем поле на форме и в документе.

Таблица 2 – Потребление электроэнергии после модернизации

Тип светильника	$P_{м ном}$ , Вт	$n_m$ , шт	$t_m$ , час	$W_m$ , кВт·ч/год
LED	6	1	8640	51,84
СПБ	16	47	8640	6497,28
ДПО03-6X1	10	8	8640	691,2
LED	6	3	1080	19,44
Итого				7259,76

Суммарный годовой экономический эффект  $\Delta W$  составит:

$$\Delta W = W_c - W_m = 11769,84 \text{ кВт·ч/год.}$$

Как видно из таблиц основную экономию электроэнергии дали светильники со светодиодными лампами с датчиками звука.

Светодиодные осветительные приборы могут использоваться практически во всех категориях искусственного освещения. Это световое решение максимально экологично с точки зрения того, что оно помогает сберечь энергетические ресурсы планеты. Кроме того, в отличие от люминесцентных ламп, светодиоды не содержат ртути, поэтому не являются опасными отходами и не требуют специальной утилизации. Правильно сконструированные светодиодные приборы превосходят традиционные светильники по ряду показателей. Они обеспечивают стабильный высококачественный цветной и белый свет практически без видимых цветовых перепадов между светильниками; имеют более высокую энергоэффективность; сохраняют высокий световой поток в течение всего срока эксплуатации (5-6 лет); требуют минимальных затрат на обслуживание.

Приведенные выше расчеты показывают, что при выполнении организационно-технических мероприятий в жилом доме можно значительно сократить потребление электроэнергии на осветительные нужды.

Использование при расчете компьютеров позволяет быстро вычислить экономию электроэнергии при различных вариантах энергосберегающих мероприятий и выбрать наилучший вариант.

УДК 621.3.072.6

Студ. К.М. Давлетшин  
 Науч. рук. доц. О.И. Александров  
 (кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ РЫНКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

В общем виде рынок электроэнергии может включать (в том числе и одновременно) несколько видов или секторов рынка.

Общая структура рынка электроэнергии показана на рисунке 1.

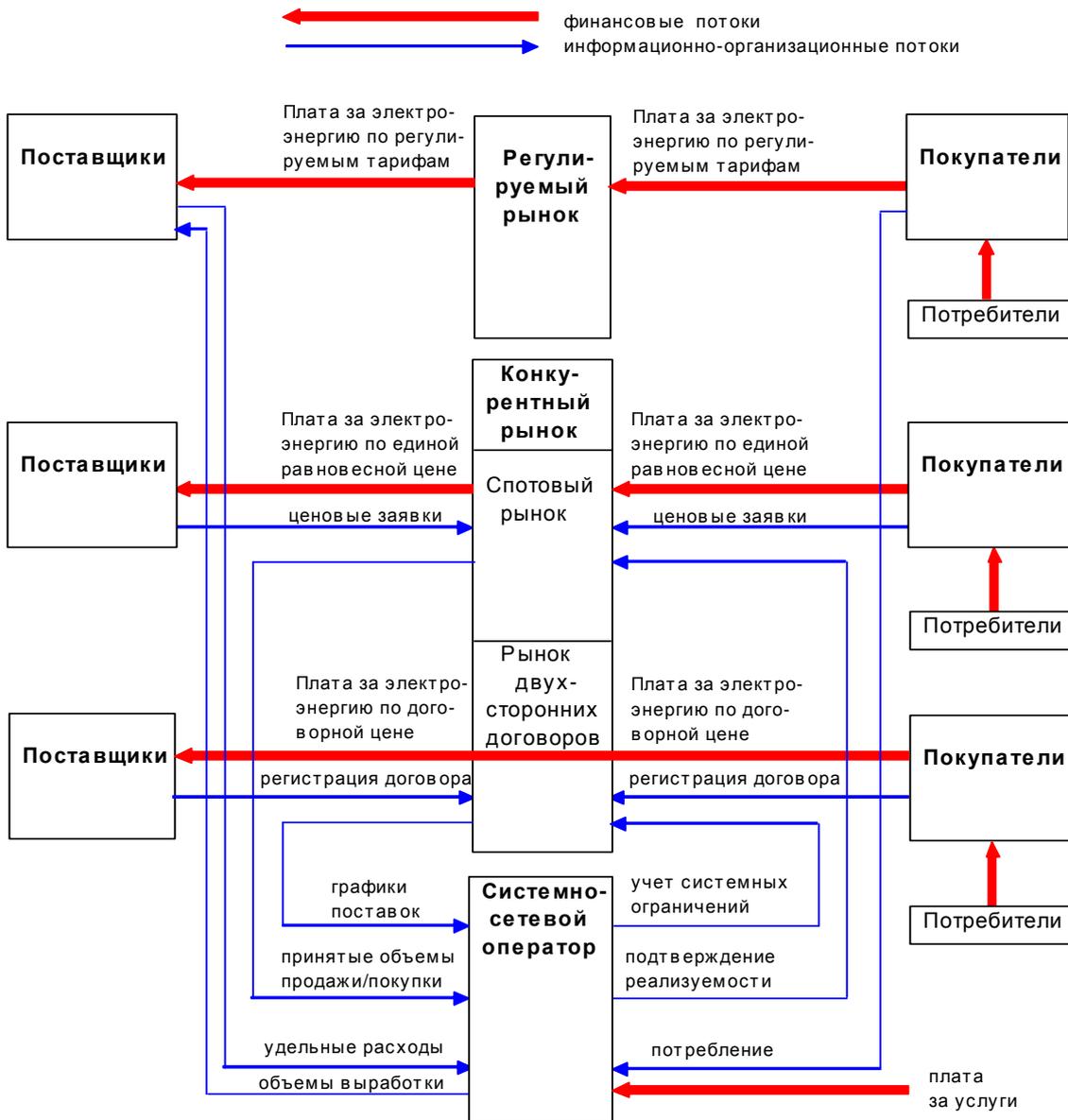


Рисунок 1 – Общая структура рынка электроэнергии

Регулируемый рынок – рынок, на котором торговля электроэнергией осуществляется по тарифам, утвержденным регулирующим органом. Состав участников рынка и организация платежей могут отличаться в зависимости от степени развития рынка. Цена для потребителей складывается как средневзвешенная по производителям электроэнергии.

Спотовый, или текущий рынок – разновидность конкурентного рынка, на котором торговля электроэнергией осуществляется, как правило, на сутки вперед (от англ. *on the spot* – «торговля на месте»). Расчет с поставщиками и покупателями производится по равновесной цене, устанавливаемой в результате аукциона ценовых заявок на покупку и продажу электроэнергии. Следовательно, равновесная цена спроса и предложения на спотовом рынке – это цена электростанции, замыкающей баланс электроэнергии. У спотового рынка электроэнергии отмечаются два важных недостатка, которые в конце концов могут привести к невозможности использовать его для справедливой конкурентной торговли электроэнергией:

Возможность производителей электроэнергии использовать негласный сговор для завышения цены электроэнергии на замыкающей электростанции. Таким образом, потребители электроэнергии полностью исключаются из процесса формирования цены.

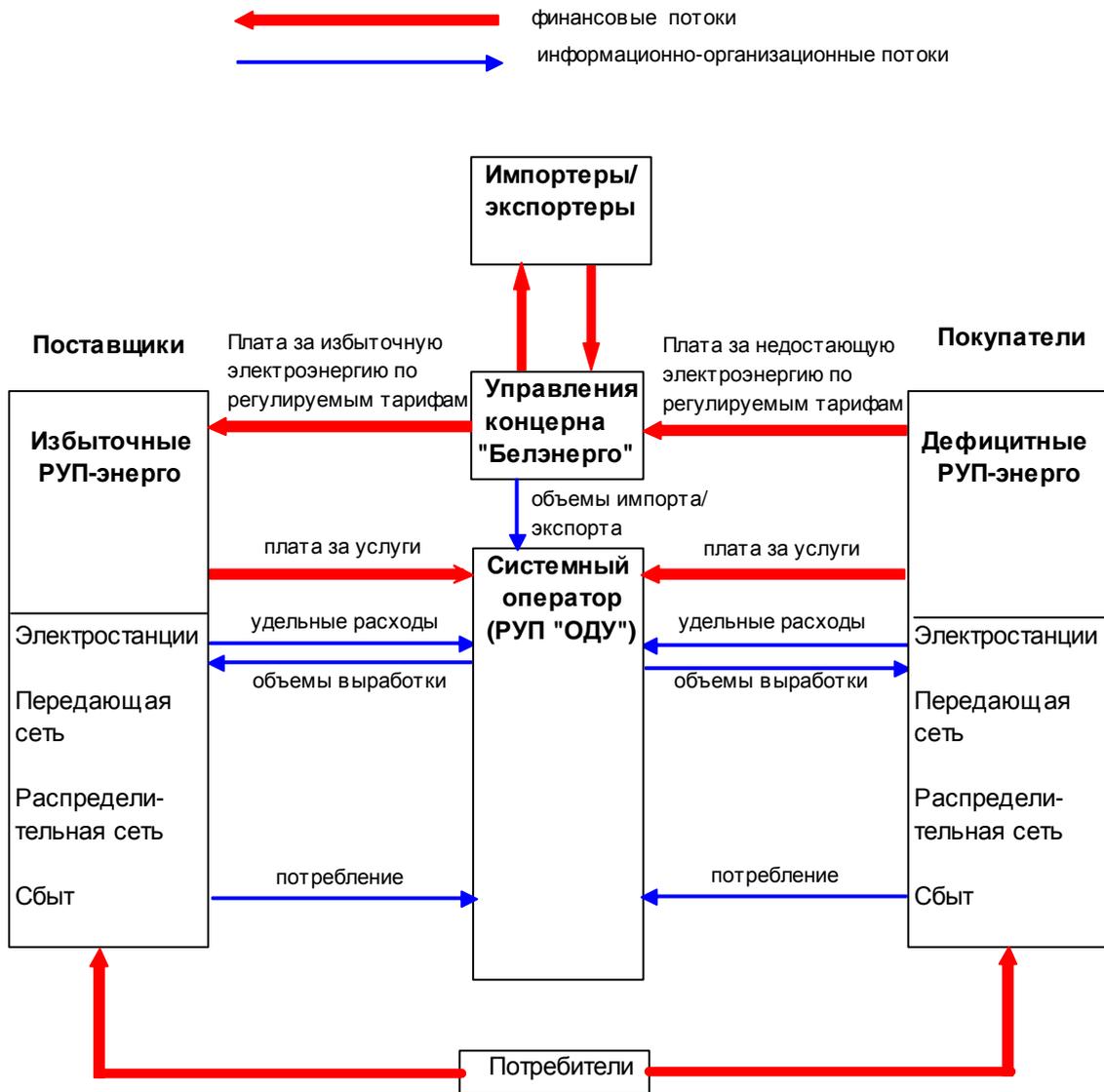
Отсутствие ценовых сигналов для развития генерирующих мощностей вследствие краткосрочности этих сигналов, поэтому при торговле электроэнергией только через спотовый рынок нельзя обеспечить справедливую конкуренцию. По этой же причине со временем обострится проблема развития генерирующих мощностей и создания достаточных резервов.

Рынок двусторонних договоров, или форвардный рынок – разновидность конкурентного рынка, на котором заключаются договоры прямого платежа между поставщиком и покупателем на период будущей поставки на заранее оговоренных условиях. Договоры могут заключаться на 10 – 15 лет, в течение которых могут быть построены и окупиться новые электростанции. Долгосрочная цена на таком рынке определяется как равновесная на пересечении долгосрочных кривых спроса и предложения.

Рынки электроэнергии стран СНГ и Балтии представляют собой различные разновидности приведенной общей модели, в зависимости от степени разделения вертикально-интегрированных компаний, открытости рынка для отдельных субъектов, участия государства и других факторов.

Функции системно- сетевого оператора зависят от вида рынка.

Структура рынка электроэнергии в Беларуси показана на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Структура рынка электроэнергии в Беларуси в настоящее время**

Рынок электроэнергии в Беларуси в настоящее время является полностью регулируемым и обусловлен вертикально-интегрированной структурой отрасли. Поставщиками электроэнергии на рынок являются избыточные РУП-энерго в объеме, соответствующем этому избытку. Покупателями электроэнергии являются дефицитные РУП-энерго в объеме своего дефицита. Расчет между РУП-энерго за проданную и купленную электроэнергию осуществляется Управлением по поставкам энергоносителей концерна «Белэнерго». Электростанции не являются самостоятельными юридическими лицами и не имеют собственного тарифа на выработку электроэнергии. Распределение нагрузки между электростанциями осуществляется по критерию минимума расхода

топлива в системе на основе характеристик относительного прироста удельных расходов топлива на отпуск электроэнергии на электростанциях.

Данный принцип распределения нагрузки обладает существенными недостатками, так как не учитывает условно-постоянных затрат и не стимулирует снижения расходов электростанции.

Для развития рыночных отношений необходимо, даже при сохранении структуры отрасли, перейти к принципу распределения нагрузки между электростанциями на основе их ценовых характеристик, полученных в рамках отдельного учета генерации, передачи и распределения электроэнергии.

Дальнейшие изменения могут быть связаны со структурными преобразованиями в отрасли: выделение из состава РУП-энерго крупных электростанций с установлением тарифов на отпуск электроэнергии от них, а также выделение передающей сети с созданием системно-сетевого оператора и установлением тарифов на передачу и распределение. Соответствующая структура рынка показана на рисунке А.3.

Проведению указанных преобразований должно предшествовать создание законодательной базы с тем, чтобы были определены права и обязанности субъектов рынка, особенно в части обеспечения надежности, а их взаимоотношения регламентированы.

На российском рынке в настоящее время представлены все сегменты рынка, показанного на рисунке 1 (регулируемый рынок и рынок «на сутки вперед» работают, рынок двусторонних договоров будет запущен в ближайшее время). На основе средних годовых затрат и прибыли, планируемых производителями электроэнергии (АО-энерго, отдельными электростанциями, генерирующими компаниями) государственные органы регулирования (ФСТ и РЭК субъектов РФ) устанавливают в настоящее время для производителей электроэнергии цены продажи электроэнергии в регулируемом секторе оптового рынка. Цена на регулируемом рынке образуется как средневзвешенное значение цен поставщиков за расчетный период. В России, в отличие от большинства стран, образованы два отдельных оператора: системный оператор «ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС» и сетевая компания ОАО «ФСК ЕЭС». Услуги этих инфраструктурных организаций оплачиваются по двум различным тарифам: тарифу на услуги по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и тарифу на услуги по передаче электрической энергии по единой национальной (общероссийской) электрической сети, оказываемые ОАО «ФСК ЕЭС». ОАО «ФСК ЕЭС» в настоящее время участвует в регулируемом секторе рынка в части закупки электроэнергии для компенсации технологических потерь.

УДК 681.5

Студ. Н. В. Давидовский, Ф. В. Бойко

Науч. рук., доц. И.О. Оробей

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **ОРГАНИЗАЦИЯ РЕВЕРСИВНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИ РАЗВЯЗАННЫХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

В настоящее время электродвигатели нашли широкое применение во всех сферах жизни.

Они являются одной из основных составляющих любого производства, используются в офисной и домашней технике, в системах мониторинга зданий и управления объектами. Еще более впечатляющее будущее уготовано электродвигателям в электромобилях и роботах.

Для достижения этих целей нужно управлять электродвигателем, что заключается в возможности регулирования скорости и направления вращения двигателя.

Сегодня управление осуществляется на базе микроконтроллеров. Исходя из того, что вся схема электрически связана, требуется отделить схему сигнализации и управления от силовой части, так как в ней часто возникают скачки напряжений, способные испортить оборудование. Для этого разделения используют гальваническую развязку.

Гальваническая развязка – это передача энергии или информационного сигнала между электрическими цепями, не имеющими между собой непосредственного электрического контакта.

По способу организации гальванические развязки многообразны. Так, например, существуют: акустические, емкостные, механические, на коммутируемых конденсаторах и другие.

Однако, широкое распространение получили два варианта гальванической развязки: трансформаторный и оптоэлектронный. Следует отметить, что использование трансформаторной развязки подразумевает усложнение схемы за счёт включения в неё выпрямителей для питания ДПТ. Поэтому предпочтительно рассматривать оптоэлектронную развязку, функцию которой выполняют оптроны (оптопары). Они реализуются на основе транзисторов, диодов, тиристоров и других компонентов, чувствительных к свету. В оптической части схемы, которая связывает приёмник и источник данных, носителем сигнала являются фотоны: их нейтральность даёт возможность выполнить электрическую развязку выходной и входной цепи.

Недостаток оптоэлектронной развязки заключается в том, что модуляция сигналов управления может происходить практически толь-

ко посредством изменения длительности сигнала, выходящего из схемы управления.

Разобравшись с основами гальванической развязки, перейдем непосредственно к основной теме. Ее содержание сводится к смене полярности питания двигателя после гальванической развязки, которая реализует реверс.

Будем считать, что управляющий сигнал синтезирован, где-то в схеме управления, и подается к двигателю через гальваническую развязку.

Может быть использовано два подхода. В одном схема управления может генерировать два отдельных канала с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) через два отдельных канала гальванической развязки. В другой – канал ШИМ один, а по другому через оптопару или по средством реле осуществляется реверс питания на силовой стороне схемы управления.

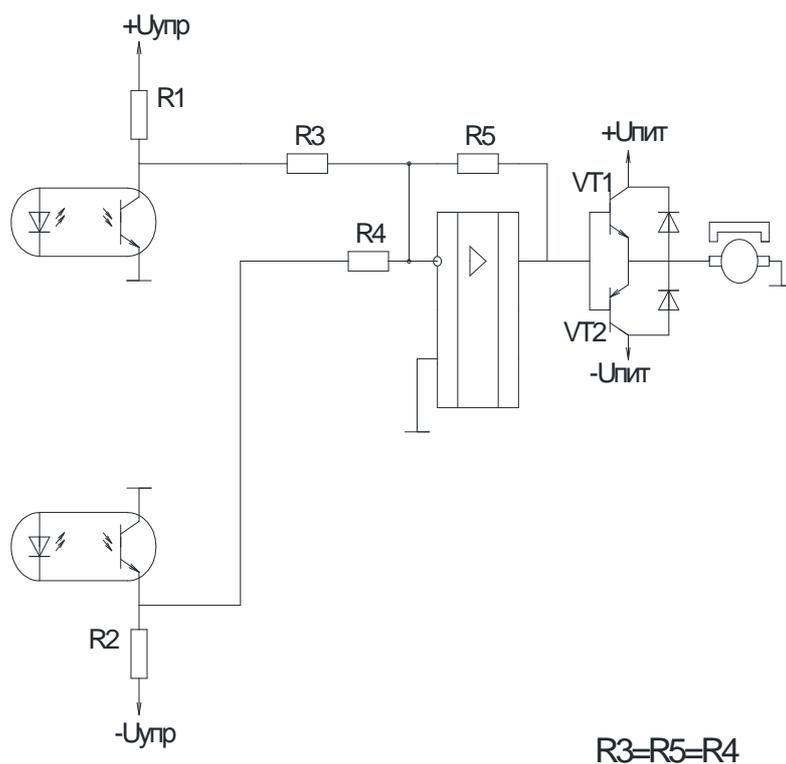
Наиболее простым способом реализации реверса является разделение управляющего сигнала по полярностям. Так мы получаем два контура на одном из которых идет положительный сигнал, на другом – отрицательный.

Реализация схем. Получаем два контура: на одном идет только положительный сигнал, на другом отрицательный. На каждый из которых устанавливаем гальваническую развязку в виде оптопары. Выход гальванических развязок используем как ключи, которые реализуют смену полярности на двигателе.

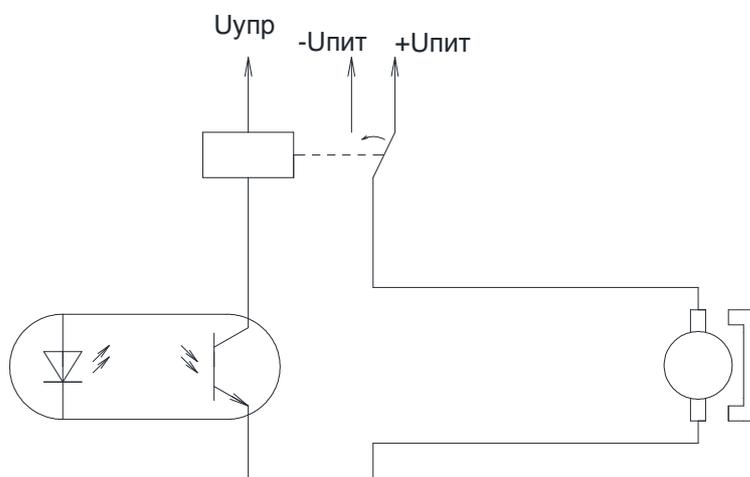
Реализация схем. Получаем два контура: на одном идет только положительный сигнал, на другом отрицательный. На каждый из которых устанавливаем гальваническую развязку в виде оптопары. Выход гальванических развязок используем как ключи, которые реализуют смену полярности на двигателе.

На рисунке 1 представлен первый подход. Недостатком является необходимость использования операционного усилителя, который требует повышенного внимания к схеме его питания. Кроме этого будет наблюдаться некоторое снижение КПД вследствие одновременной работы двухполярного блока питания, одна часть которого всегда находится в режиме холостого хода. Однако такой вариант позволяет реализовывать быстрые и частые изменения направления вращения. Следует отметить, что существуют варианты реализации схемы управления на рисунке 1 и в транзисторном исполнении.

На рисунке 2 показан вариант смены полярности с помощью электромагнитного реле.



**Рисунок 1 – Реализация реверса с помощью суммирующего усилителя**



**Рисунок 2 – Реализация реверса с помощью электромагнитного реле**

В области управления двигателями постоянного тока нашла распространение так называемая H-схема (рисунок 3).

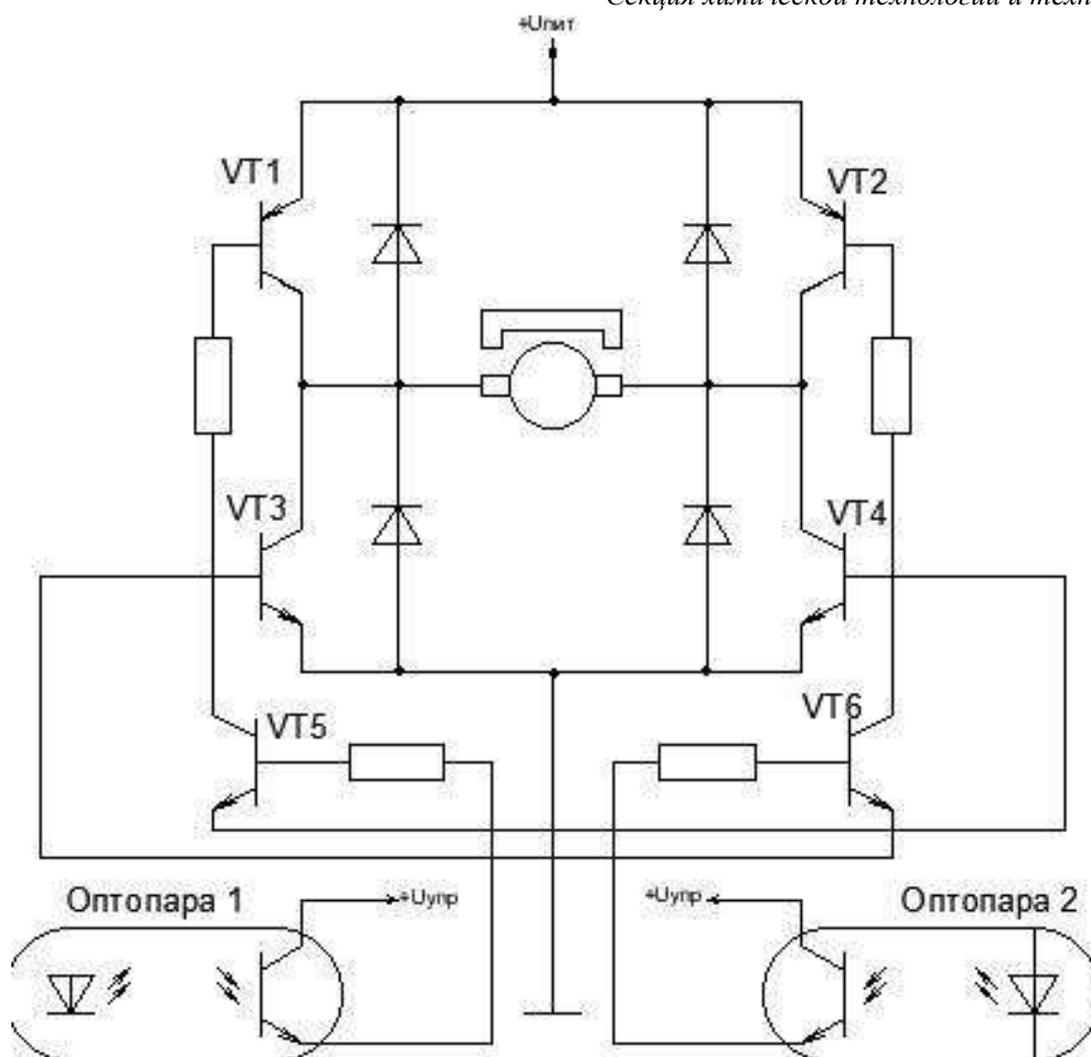


Рисунок 3 – H-схема управления двигателем постоянного тока

H-схема характеризуется большей насыщенностью полупроводниковыми элементами. В отличие от схемы на рисунке 1 использует однополярное питание. Однако требует открытие двух силовых ключей, что иногда равносильно соизмеримыми потерями с рассеиванием мощности с режимом холостого хода двухполярного блока питания. В более выигрышном варианте будет использование в качестве силовых ключей полевых транзисторов. Однако они имеют существенные ограничения по мощности нагрузки по сравнению с обыкновенными биполярными и IGBT транзисторами.

Вывод. Показано несколько вариантов реверсивных гальванически развязанных схем управления ДПТ. Каждая из схем имеет свои преимущества и недостатки. Выбор будет определяться особенностью применения отношением к энергетическим показателям конечной схемы.

УДК 681.5

Студ. В.Л. Алексеев, Е.Е Лаврусик

Науч. рук., доц. Д.А. Гринюк

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ВОЛОКНА НА ООО «ИМТ- ФИЛЬТР»**

Источник информации: ООО «ИМТ-Фильтр», производственный цех №2.

Цель процесса – получение химического волокна со способностью поглощать угарный газ  $SO_2$ .

Участок синтеза химического волокна состоит из реактора (который разделен на четыре секции), бака нейтрализации аммиака, картриджей (которые помещены в каждую секцию реактора и в которых проходит химическая реакция).

Сырьё (волокно  $M_v=20$ кг и химический раствор на основе амминов  $V_p=0.35$ м<sup>3</sup>) дозатором (двигатель М1) подается в картриджи. После заполнения всех картриджей (а таких 8), включается подводящий насос (двигатель М2) тем самым заполняя реактор водой, после заполнения вода нагревается до температуры химической реакции ( $T_{хим} p=95$  °С), нагревая картриджи и их содержимое.

После нагрева содержимого картриджей начинает протекать химическая реакция, которая длится 12 часов, во время реакции каскадная система автоматического управления поддерживает интенсивность протекания реакции с помощью основного показателя которым является рН среды в баке диссоциации ( $pH_{нач}=10,7$ ;  $pH_{сер}=9,8$ ;  $pH_{кон}=8,9$ ) аммиака, а вторичным показателем является температура воды в реакторе.

После окончания реакции воду выкачивают из реактора насосом (двигатель М3) и реактор охлаждается, после содержимое картриджей выгружается вручную и полученное волокно идет на промывку в специальные бассейны.

При построении систем автоматизации производственных процессов определяют технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию, а так же выявляют точки введения управляющих воздействий и каналы их прохождения по объекту. С этой целью составляют схему взаимных воздействий технологических параметров объекта, выделяют основные и дополнительные каналы прохождения сигнала, а затем выявляют контуры регулирования, компенсирующие колебания технологических параметров на входе аппарата. При необ-

ходимости контуры регулирования связывают между собой, и контролируемые величины выбирают так, что бы их число было минимальным, но достаточным для полного представления о ходе протекания технологического процесса.

Исходя из технологического описания процесса, описанной выше, можно составить схему представленную на чертеже (функциональная схема автоматизации).

Установка оборудована электронной системой управления процессом (DCS), системой противоаварийной защиты (PLC), системой детекции газов, системой автоматического пожаротушения и сигнализацией.

Особенностью процесса синтеза химического волокна является то, что он протекает с выделением аммиака при утечке которого может произойти взрыв и пострадать обслуживающий персонал, поэтому необходимо предусмотреть противоаварийную систему которая будет контролировать содержание аммиака в производственном помещении. Регулирование рН на каждом этапе химической реакции в баке нейтрализации аммиака позволит сократить время химической реакции.

Управление процессом осуществляется путем изменения подаваемой мощности на электронагреватели, которые, в свою очередь, изменяя температуру воды в реакторе изменяют интенсивность выделения аммиака, что изменяет рН воды в баке диссоциации. При этом прогнозирование реакции объекта на управляющие воздействия существенно затруднено из-за возмущений со стороны соседних секций.

Следующим недостатком является то, что в данном реакторе средства автоматизации морально устарели и требуют замены. Использование дискретного регулирования тоже является существенным недостатком, повышающим расход электроэнергии.

Особенностью основных каналов регулирования реактора является их инерционность, которая препятствует корректному управлению процессом с помощью локальных систем автоматического регулирования. В подобных условиях необходима разработка каскадной системы управления, способной быстро откликаться на возмущающие сигналы.

Для технической реализации поставленной задачи необходимо использовать микропроцессорный контроллер, который обладает для этого достаточной информационной и вычислительной мощностью.

Требования к проектируемой системе управления:

-Особенность работы установки заключается в поддержании определенного температурного режима.

-Система автоматического контроля и управления АСУ ТП должна обеспечивать надежность управления работой всех аппаратов

во всех режимах – предпусковом, пусковом, нормальном технологическом режиме, режиме остановки (плановом и аварийном).

-Система контроля и управления АСУ ТП будет выполнена на базе микропроцессорного программно-технического комплекса.

-Система АСУ ТП представляет единый ПТК, с единой базой данных, как для «верхнего уровня», так и для контроллера.

Основным аппаратом при синтезе химического волокна является реактор. Химический реактор – это аппарат, в котором осуществляются взаимосвязанные процессы химического превращения, массопередачи и теплообмена.

С точки зрения управления химические реакторы представляют собой довольно сложные объекты. Динамические свойства химических реакторов зависят от кинетики конкретных реакций, закона изменения во времени параметров окружающей среды и формы реактора. Для установления количественной связи между этими факторами требуется составить дифференциальные уравнения, выражающие взаимные отношения физических переменных. Часто эти уравнения могут быть составлены, но при решении их обычными математическими методами сталкиваются с большими затруднениями вследствие нелинейности уравнений. Однако далеко не всегда необходимо точное исследование динамики химических реакторов. Часто удается определить лишь передаточные функции, при помощи которых динамическая характеристика реактора может быть аппроксимирована с удовлетворительной для практических расчетов точностью.

Скорости реакций могут изменяться в широком интервале: от очень малых до очень больших значений. Сравнивая скорость реакции и среднее время пребывания молекулы в реакторе, определяют, чем в основном определяется динамика реактора: собственно, химическим процессом или процессом перемещения материалов. Если постоянная времени процесса перемешивания невелика и реакция протекает медленно, то динамические свойства реактора определяются в основном химической кинетикой. Однако при больших скоростях реакций и большой постоянной времени процесса перемещения материалов дело обстоит иначе. В этом случае можно принять, что превращение сырья в конечный продукт происходит мгновенно, но, вероятно, имеет место транспортное запаздывание в составе продукта, выходящего из реактора. В случае, когда динамика процесса определяется в основном перемещением материалов, превращение сырья в конечный продукт описывается для идеального реактора уравнением статического материального баланса.

Объекты управления химической технологии сложны и многооб-

разны, поэтому с точки зрения автоматизации представляется важным, а порой и необходимым, классифицировать их по типу и характеру протекающего процесса. С целью последующего синтеза автоматической системы регулирования произведем анализ рассматриваемого аппарата – реактора как объекта автоматического управления.

Для технической реализации поставленной задачи необходимо использовать микропроцессорный контроллер, который обладает для этого достаточной информационной и вычислительной мощностью. В проекте использован многофункциональный контроллер «Omron». Контроллер имеет мощный процессор и высокоскоростные коммуникационные средства на базе RS-485 или Ethernet с возможностью подключать дополнительные коммуникационные модули.

В процессе синтеза химического волокна в качестве исполнительного механизма применяют электронагреватели.

Нагреватель состоит из двух частей: коробки подключения с кабельными вводами и погружных нагревательных элементов (ТЭНов).

Регулирующие органы входят в состав исполнительных устройств систем автоматического регулирования, содержащих также исполнительные механизмы. Исполнительные механизмы служат для регулирования расхода энергии (или вещества) при поддержании заданного значения регулируемой величины в управляемом объекте.

Основными параметрами, определяющими выбор исполнительных механизмов, являются: поверхность теплообмена, мощность, напряжение, размеры электронагревателя, материал из которого сделаны ТЭНы.

Правильный выбор характеристик исполнительных механизмов имеет большое значение при автоматизации объектов управления.

Например, если выбрать электронагреватель, у которого ТЭНы сделаны из неподходящего материала, его придется очень часто менять что влечет за собой большие расходы на обслуживание.

В качестве исполнительных механизмов у нас в системе выступают фланцевые электронагреватели ИМН-В.

Характеристики электронагревателя:

– напряжение питания – 380 В;

– допуск на коррозию – 3 мм;

– материал исполнения ТЭНов – нержавеющая сталь марки AISI

316;

– погружная длина – 1000 мм;

– мощность – 60 кВт.

УДК 681.3

Студ. В.А. Стаблецкий, Д.В. Кузьмицкий

Науч. рук. доц. Д.С. Карпович

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **СИНТЕЗ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ НА RASPBERRY PI**

В центре нашего интереса находятся математические, алгоритмические, программные и аппаратные средства, дающие возможность воспроизводить и автоматизировать при помощи компьютеров те зрительные функции человека, которые позволяют ему дистанционно ориентироваться в окружающем мире, понимать его, выполнять те или иные стоящие перед ним целевые задачи.

Машинное зрение имеет огромное число потенциальных областей применения, таких как промышленная инспекция и контроль качества, робототехника, навигация и транспортировка, дистанционное зондирование, медицина и биомеханика, инженерный труд, автоматизация проектирования, новые технологии обработки документов, биометрия и множество других. Основные задачи, машинного зрения могут быть сформулированы следующим образом:

- калибровка сенсоров, самоориентация и самопозиционирование;
- обнаружение объектов и изменений в сцене наблюдения;
- слежение за объектами;
- реконструкция поверхностей и обнаружение трёхмерных структур;
- высокоточные измерения элементов сцены;
- описание сцены и идентификация объектов;
- организация зрительной обратной связи при работе управляемых устройств.

При рассмотрении и выборе алгоритмов руководствуются различными принципами. При анализе и выборе мы руководствовались тремя основными типами требований: робастность; точность; вычислительная реализуемость.

Робастность. Алгоритмы, решающие прикладные задачи машинного зрения, должны работать на реальных изображениях. В то же время каждый, кто на практике пытался конструировать алгоритмы обработки реальных изображений, хорошо знает, насколько изменчивы и неформализуемы могут быть факторы, влияющие на процесс их обработки и анализа. Вот только основные из этих факторов:

- помехи и "шум" – имеют десятки видов источников возникновения, к числу которых можно отнести несовершенство сенсоров приемо-передающей аппаратуры и аппаратуры оцифровки изображе-

ний, трудные условия съемки, недостаток освещения и ряд других;

- сложный текстурированный фон, на котором должно происходить обнаружение объектов, например, обнаружение штриховой наклейки на схожей с ней по структуре газетной странице и т. п.;

- эффекты загораживания (заслонения) одних объектов другими объектами, как правило, не определенной заранее формы, например – облако на космофотоснимке и т. п. загораживающие помехи;

- искажающие оптические эффекты в виде различных расфокусировок, дисторсий объективов, ракурсных искажений и др.;

- эффекты резкой смены освещения, блики, тени, особенно в динамическименяющихся сценах;

- разнообразие и изменчивость самих объектов – переменная структура (каку текстовых строк, автомобильных номеров или штриховых кодов), возможные дефекты, временные изменения формы (сгибание и разгибание конечностей, движение механических частей машин), вегетационные циклы для растительности и т. п.;

- эффекты изменения среды между сенсорами и объектами наблюдения-задымление, атмосферные осадки, пыль, искусственные помехи и многое другое;

- несинхронность регистрации и обработки в динамических задачах, связанная с ограничениями быстродействия компьютерных средств хранения и анализа изображений – особенно критична для промышленных приложений с заданным временем реакции на событие. Сюда же можно отнести также сбои в компьютерных программах.

Отсутствие формализованного описания ключевых факторов, вносящих неопределенность в процесс обработки, приводит к тому, что, в отличие от многих других областей обработки сигналов, говорить о существовании единственного оптимального алгоритма для решения той или иной задачи обработки изображений практически невозможно. Так, например, только для задачи сегментации графики и текста на цифровых изображениях документов придуманы сотни принципиально различных алгоритмов.

При разработке реальных алгоритмов в настоящее время стандарт "де факто" состоит в проверке эффективности работы сконструированных алгоритмов на больших выборках реальных данных или изображениях, содержащих по возможности все неприятные ситуации. Такие алгоритмы, которые обладают устойчивостью к значительным искажениям и меняющимся факторам, принято называть устойчивыми или робастными. Робастность следует считать первым и основным требованием при разработке алгоритмов машинного зрения.

Точность. Важнейшее свойство, которым должны, как правило,

обладать алгоритмы обнаружения объектов на изображениях, можно определить, как точную локализацию объектов, подлежащих обнаружению, или контуров объектов, подлежащих измерению. Это означает, что необходимо не просто выделить объект, но и точно указать в системе координат изображения (или сцены) его положение и размеры. Под точной локализацией можно понимать знание о положении какой-либо характерной точки объекта и параметрах геометрии искажения (поворот, аффинные коэффициенты, изгибы и др.). При этом встречающиеся случаи ошибок локализации целесообразно разделить на две группы – нормальные и аномальные ошибки.

Нормальная ошибка – это правильная локализация объекта с некоторой позиционной или параметрической неточностью, характеризующейся количественными оценками.

К аномальным ошибкам следует отнести ситуацию перепутывания объектов, что связано с фатальными количественными ошибками позиционирования или просто ложным обнаружением. Требования по исключению или ограничению уровня аномальных ошибок составляют очень важную часть требований к алгоритмам обнаружения.

Можно заметить, что требования по точности предъявляются и к алгоритмам обработки изображений низкого уровня. Например, во многих измерительных задачах фильтры, устраняющие помехи, не должны при этом существенно изменять видимое положение контуров объекта. Требование "сохранения краев" или, в более общем виде, сохранения неизменными измеряемых характеристик полезного сигнала является принципиальным требованием "по точности", предъявляемым в машинном зрении к алгоритмам нижнего уровня, поскольку, если данные были "испорчены" уже на нижнем уровне обработки, то на более высоких уровнях анализа никакие самые совершенные математические методы помочь не смогут, и задача в целом не будет решена с необходимой точностью.

Вычислительная реализуемость. Несмотря на создание обширной специализированной процессорной базы для обработки изображений, в основной массе приложений, особенно промышленных приложений реального времени, характеристики вычислителей и их свойства все еще далеки от желаемых.

Важное отличие, присущее процедурам обработки и анализа изображений по сравнению с задачами распознавания или интерпретации уже сегментированного образа, заключается в том, что обнаружение и измерение в практических задачах всегда связано с процедурой поиска объекта. Именно реализация процедуры поиска объекта связана с угрозой лавинообразного роста потребного числа вычислений.

Более того, реальные задачи обработки визуальной информации изобилуют дополнительными степенями свободы, когда искомая ярко-геометрическая структура на изображении может иметь не только произвольные положение, угловую ориентацию и масштаб, но и подвергаться разным преобразованиям, не только аффинным или проективным, но и гораздо более сложным. Все это много – кратно увеличивает требуемое для перебора время расчетов и требует применения качественно новых идей по организации процесса анализа изображения.

Оценивая размер изображения, предназначенного для обработки, например, как 1000 на 1000 элементов, что не является чем-то необычным для современных видеодатчиков, мы получим даже для простейших операций обработки изображения характерную оценку количества требуемых вычислений порядка нескольких гигафлопов операций на кадр. Причем приложениям реального времени необходимо выполнять эти вычисления в темпе кадровой развертки. При этом следует учесть, что основные приложения машинного зрения находятся в тех областях, где массогабаритные и стоимостные характеристики конструируемых устройств по определению ограничены и должны быть невелики.

Таким образом, вычислительная реализуемость алгоритмов машинного зрения по-прежнему относится к числу наиболее важных факторов, которые необходимо учитывать при их разработке. Были рассмотрены следующие библиотеки: NumPy, OpenCV, Dlib, OpenFace. Результатом изучения возможных алгоритмов детектирования и распознавания были выбраны методы: метод опорных векторов для детектирования человека, метод Виолы–Джонса для распознавания лиц.

Приложение было разработано на открытой библиотеке OpenCV в связи с тем, что данная библиотека является открытой, удобной и имеет реализацию перечисленных методов распознавания и детектирования. Для реализации системы технического зрения не маловажным параметром является чувствительность нашей камеры на освещение, т.к. при определённом уровне освещённости камера может просто “ослепнуть”. Освещённость измерялась при помощи фоторезистора GL5516. Один его вывод соединен с питанием +5 V и другой с аналого-цифрового преобразователя (вывод PF1) микроконтроллера.

В качестве аппаратной части была использован микрокомпьютер Raspberry Pi 3 B+ с камерой Logitech c170.

При проведении экспериментов определена оптимальная зависимость между освещённостью на видеокамеру и алгоритмом распознавания. Также было получено среднее время обработки одного кадра при использовании различных алгоритмов распознавания.

УДК 681.5

Студ. В.Ю. Козловский, А. М. Шилин  
Науч. рук. ст. преп. Д.А. Лихавицкий

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ГАЗОАНАЛИЗАТОРЕ**

Газоанализаторы широко применяются в системах управления в химической технологии. Эксплуатационные требования к ним непрерывно повышаются. Одной из поставленных задач является поддержания температурных режимов внутри преобразователя в процессе изменения.

Данный прибор работает с концентрациями газов с помощью чувствительных сенсоров, и работа которых не должна нарушаться при любых условиях. Работа газоанализатора сильно зависит от внешней температуры. Поскольку внешняя температура изменяется в больших пределах ( $-30\dots+30^{\circ}\text{C}$ ) нужно создавать оптимальные условия для корректной работы прибора. Оптимальными для работы являются температура от  $+25$  до  $+30^{\circ}\text{C}$  внутри корпуса и конкретные  $+30^{\circ}\text{C}$  на самих сенсорах.

Для задачи нагрева и охлаждения используются термопластина и вентилятор. На этапе разработки данной установки предварительно имеются следующие режимы работы:

Работа при отключенном вентиляторе и нагревателе;

Работа при включенном нагревателе и при отключённом вентиляторе;

Работа при включенном нагревателе и вентиляторе;

Работа при включенном вентиляторе и при отключённом нагревателе;

Немаловажным является ограничение по потребляемой мощности. Конечной задачей регулирования является создание оптимального глобального позиционного регулятора для регулирования температуры внутри установки и локального ПИД регулятора для постоянного значения температуры на сенсорах.

Цель процесса — поддержание стабильной температуры внутри корпуса и сенсорах газоанализатора  $+25 - +30^{\circ}\text{C}$  и  $+30^{\circ}\text{C}$  соответственно.

Газоанализатор состоит из участка очистки поступающего газа от крупнодисперсных частиц, участка для уменьшения влагосодержания до приемлемых значений путем создания перепада давления на участке поступления газа на очистку, участка нагрева внутреннего простран-

ва корпуса, участка непосредственного анализа газа с помощью сенсоров, а также участка управления и питания элементов.

Воздух поступает из окружающей атмосферы с помощью помпы, идет на сужающее устройство для получения газа влажностью не выше 50%, проходит участок очистки от крупнодисперсных частиц, далее проходит участок с сенсорами, поддерживающими постоянную температуру 30°C и возвращается обратно в атмосферу.

При построении систем автоматизации производственных процессов определяют технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию, а также выявляют точки введения управляющих воздействий и каналы их прохождения по объекту. С этой целью составляют схему взаимных воздействий технологических параметров объекта, выделяют основные и дополнительные каналы прохождения сигнала, а затем выявляют контуры регулирования, компенсирующие колебания технологических параметров на входе аппарата. При необходимости контуры регулирования связывают между собой, и контролируемые величины выбирают так, чтобы их число было минимальным, но достаточным для полного представления о ходе протекания технологического процесса.

Особенностью процесса газоанализа является то, что требуется поддержание постоянной температуры на сенсорах и внутри корпуса.

Поскольку данная система сильно зависит от изменения температуры системы и в случае её изменения получаются некорректные измеряемые величины (концентрации и влажности), то требуется постоянное поддержание температуры на сенсорах, используемых для определения концентраций, на одном значении.

Для определения состава газа и аэрозолей в установке имеются следующие датчики: концентрации, влажности, расхода, температуры.

В связи с большим количеством возмущающих воздействий, взаимосвязанности между элементами объекта и редким сравнением выходных показателей концентраций оценка показателей качества является сложной задачей.

Из-за большой инерционности процесса нагревания (охлаждения) также осложняется процесс управления. Но одним из основных воздействий на объект является внешняя температура. Для борьбы с данным воздействием нужно разработать комбинированную систему.

Для технической реализации поставленной задачи необходимо использовать микропроцессорный контроллер, который обладает для этого достаточной вычислительной мощностью.

Для технической реализаций будет использоваться микропроцессорный контроллер который ранее уже был установлен в системе. Им

является платформа с полностью открытой архитектурой «Arduino MEGA 2560». Она обладает достаточной вычислительной мощностью, а его модульность позволяет гибко реагировать на поставленные задачи.

Нагреватель представляет собой устройство, преобразующее электрическую энергию в тепловую. Для нагревателя можно записать уравнения электрической мощности:

$$P = I^2 \cdot R_{наг} \cdot \eta, \quad (1)$$

где  $I$  – ток нагревателя, А;  $R_{наг}$  – сопротивление нагревателя, Ом;  $\eta$  – коэффициент полезного действия.

Мощность, выделяемая секцией нагревателя, не является постоянной величиной, так как при изменении температуры нагревателя изменяется его сопротивление. Это изменение описывается следующим выражением:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha_e \cdot \Delta T_{наг}), \quad (2)$$

где  $R_0$  – сопротивление нагревателя при температуре 20 °С, Ом;  $\alpha_e$  – температурный коэффициент сопротивления материала нагревателя, °С<sup>-1</sup>;  $\Delta T_{наг}$  – изменение температуры нагревателя, °С.

Сопротивление проводника нагревателя можно определить из формулы:

$$R_0 = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала нагревателя, (Ом·мм<sup>2</sup>)/м;  $l$  – длина нагревателя, м;  $S$  – площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>.

Мощность, выделяемую в нагревателе, можно представить, как тепловой поток, поступающий в нагреватель.

Комбинированные системы регулирования применяют при автоматизации объектов, подверженных действию существенных контролируемых возмущений.

Существует два способа построения комбинированных САУ: 1) При подключении выхода компенсатора на вход объекта ; 2) При подключении выхода компенсатора на вход регулятора.

Обе системы обладают общими особенностями: наличием двух каналов воздействия на выходную координату объекта и использованием двух контуров регулирования–замкнутого и разомкнутого. Отличие состоит в том, что во втором случае корректирующий импульс от компенсатора поступает не на вход объекта, а на вход регулятора.

Введение корректирующего импульса по наиболее сильному возмущению позволяет существенно снизить динамическую ошибку регулирования при условии правильного выбора и расчета динамического устройства, формирующего закон изменения этого воздействия.

УДК 681

Маг. А.В. Леончук, студ. Д.Ю. Павлюкевич

Науч. рук. доц., Д. С. Карпович

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОСЕТЕЙ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ**

Одной из основных составляющих современных систем приточно-вытяжной вентиляции является средства и системы автоматики. Они реализуют различные функции управления, которые должны обеспечивать поддержание требуемой температуры и микроклимата в обслуживаемых помещениях.

Основные технологические функции управления систем приточно-вытяжной вентиляции, как правило, реализуются с помощью систем автоматического управления (САУ). САУ – это совокупность объекта управления (управляемого технологического процесса) и управляющих устройств, взаимодействие которых обеспечивает автоматическое протекание процесса в соответствии с заданной программой.

Современные САУ в качестве средств управления используют, как правило, электронные цифровые устройства на базе микропроцессоров. По своим техническим возможностям эти устройства позволяют обеспечить управление множеством параметров.

**Объект исследования**

В качестве объекта исследования была выбрана приточно-вытяжная установка с водяным теплоносителем. При регулировании теплопроизводительности приточных систем наиболее распространенным является способ изменения расхода теплоносителя. Для управления расходом теплоносителя необходимо знать, как изменяются температурные показатели на выходе установки от изменения температуры теплоносителя. Для этой цели можно использовать расчетный и экспериментальный метод исследования. В данной работе используется экспериментальный метод.

Для диспетчеризации и удаленного управления системой в качестве верхнего уровня диспетчеризации используется контроллер AS-P производства Schneider Electric. Опрос контроллера приточки осуществляется через шлюз Modbus TCP – RTU. На мониторе диспетчера в режиме реального времени можно видеть изменение параметров системы (рисунок 1, рисунок 2).

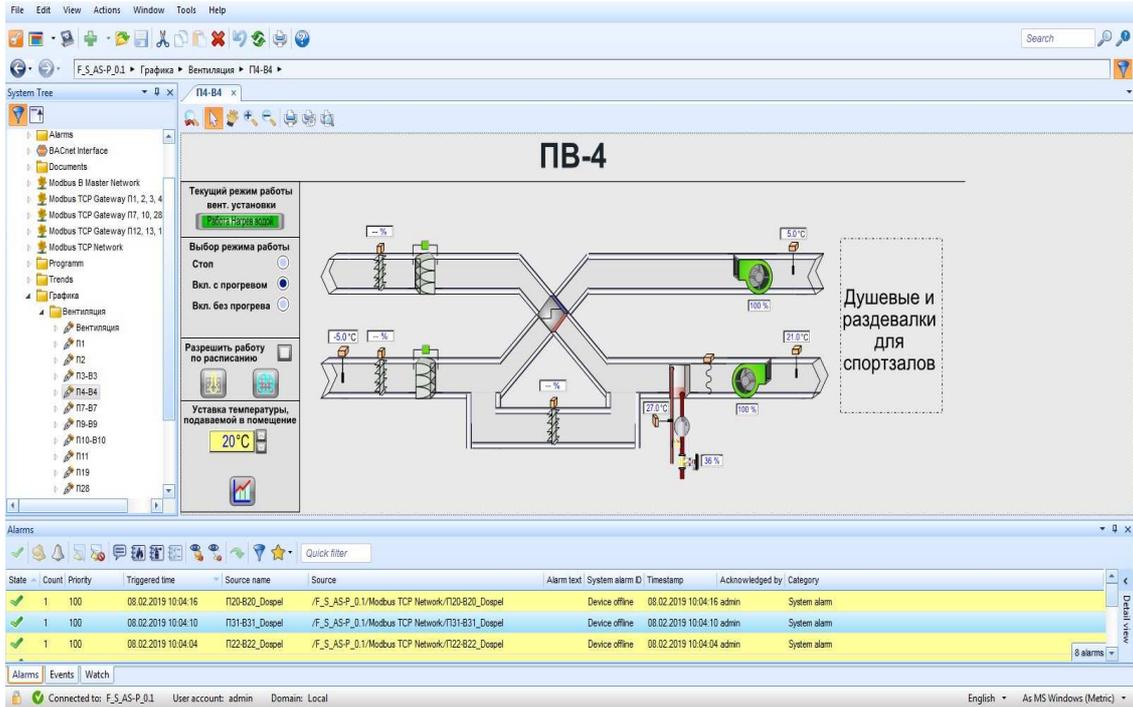


Рисунок 1 – Общий вид приточно-вытяжной установки.

В ходе удаленного мониторинг с рабочего места диспетчера были получены параметры для дальнейшего исследования (таблица 1).

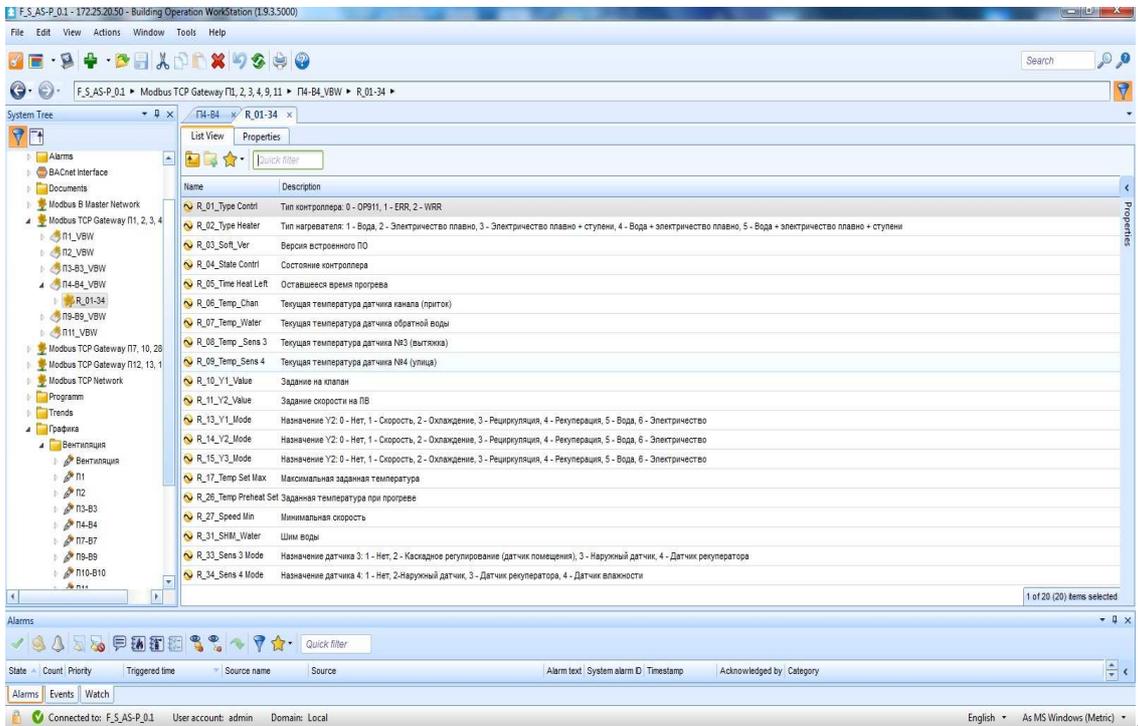
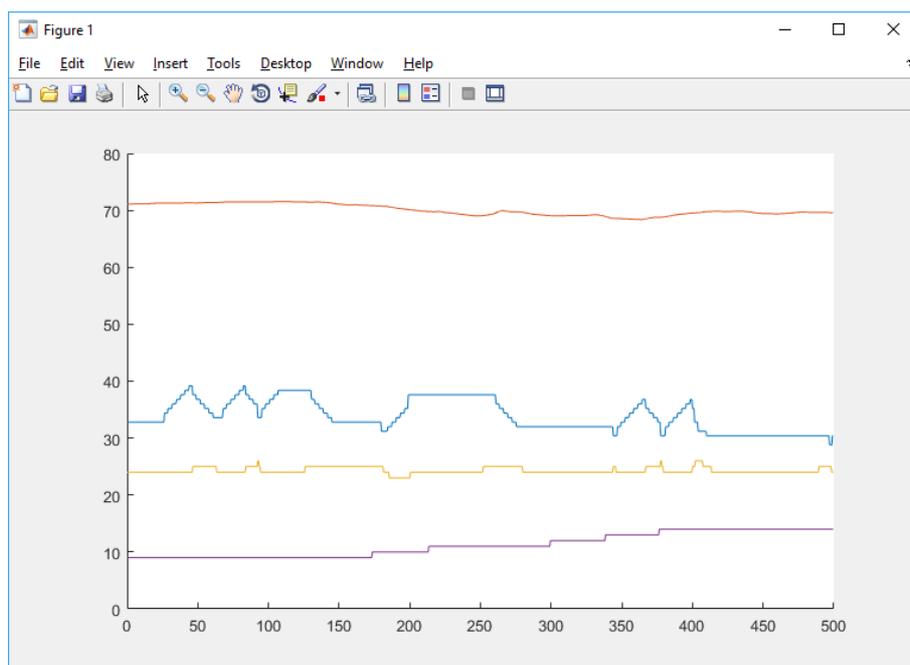


Рисунок 2 – Перечень измеряемых параметров

Таблица 1 – Перечень измеряемых параметров

Время, с	Откр. Кл.,%	Температура воздуха подаваемого на ПВ	Температура обратной воды	Температура теплоносителя (воды) на входе ПВ	Температура приточного воздуха в помещения;
499,50	30,40	14,00	24,00	69,58	23,00
499,00	30,40	14,00	24,00	69,58	23,00
498,50	28,80	14,00	24,00	69,58	24,00
...	...	...	...	...	...
1,50	32,80	9,00	24,00	71,10	24,00
1,00	32,80	9,00	24,00	71,10	24,00
0,50	32,80	9,00	24,00	71,10	24,00
0	32,80	9,00	24,00	71,10	24,00

Полученные данные были обработаны при помощи программы [MATLAB](#). Результатом работы стали графики переходных процессов (рисунок 3).

Рисунок 3 – Графики полученные в программе [MATLAB](#)

Построение математической модели динамических систем по измеренным данным входа и выхода измеренных параметров должна позволить уменьшить расход теплоносителя и как следствие улучшить экономические показатели системы.

УДК 681.5

Студ. М.М. Гвоздев, М.Д. Карпович

Науч. рук. доц. Д.А. Гринюк

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **ФИЛЬТРАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИИ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ПОМЕХ**

Полезный сигнал измерительных преобразователей практически всегда требует улучшения отношения сигнал / помеха. Обычно выделяют следующие способы фильтрации: метод накопления; частотная фильтрация; корреляционный метод; согласованная фильтрация; нелинейная фильтрация. Все эти методы основаны на использовании различий в свойствах полезного сигнала и помех. Иногда, при обработке трендов приходится решать вопросы обнаружения полезного сигнала.

При проведении научных экспериментов по анализу колебаний резинотехнической ленты дополнительные трудности были обусловлены низкой чувствительностью первичного преобразователя. Сглаживание измерительных трендов следовало проводить таким образом, чтобы максимально сохранить форму сигнала и иметь возможность определить частоту колебаний. Форма периодического полезного сигнала имела переменный характер, представляя собой смесь двух-трех, слегка нелинейных гармонических сигналов. По этой причине был выбран метод локальной аппроксимации для проведения процесса сглаживания.

Основной целью разработки стенда было проверить теоретические предпосылки по измерению расхода сыпучих материалов с помощью анализа конвейерной ленты. А также проверить некоторые теоретические неопределенности с влиянием натяжения ленты на собственную частоту колебаний.

Основные компоненты стенда при эксперименте:

Конвейерная лента с шириной примерно 620 мм, имеет множество поверхностных дефектов с лицевой и тыльной сторон

Динамометр для контроля натяжения с предельной величиной в 2 тонны.

Датчик перемещения – лазерный измерительный датчик, диапазон измерений 300мм.

Несущая конструкция использовалась для придания жесткости конструкции, была представлена металлическими пластинами толщиной 10 мм и закреплена к швеллеру болтами.

Датчик имел выход 4-20 мА и был нагружен сопротивлением 150 Ом. Для фиксации измерений был использован цифровой осциллограф с возможностью записи данных на hardware компьютера. После прове-

дения экспериментов получаемые данные конвертировались в пакет математической обработки Matlab.

План эксперимента заключался в следующем. Для получения периодического воздействия на ленту мотор-редуктор был подключен к частотному приводу. На вал редуктора закреплялись диски, сделанные из 10 мм фанеры. После долгих поисков, с учетом малой амплитуды полезного сигнала, использован вариант диска с одним шипом. Это позволило получать максимально одинаковые удары по ленте, что позволило проводить усреднение при последующей обработке. Частота воздействия на ленту была чуть меньше 1 Гц, что позволило наблюдать несколько периодов после удара по ленте.

Нагрузка на ленту имитировалась с помощью мешков, в которые предварительно был насыпан песок. Вес каждого мешка был примерно 15 кг.

С помощью натяжного винта устанавливалось соответствующее натяжение ленты. После этого включался частотный привод и начинался эксперимент. Начинали с пустой ленты, а затем добавляли по одному мешку. Максимальный вес между опорами 6 мешков – примерно 90 кг. На каждом этапе фиксировалось 40 секунд стационарной работы.

Натяжение контролировалось визуально по динамометру. Отличия с пустой лентой и без были незначительны. Далее требовалось произвести сглаживание полученных данных.

Одним из эффективных методов непараметрической фильтрации может быть метод локальной аппроксимации. Суть этого метода состоит в использовании скользящих локально-параметрических моделей. Для обеспечения максимального качества сглаживания требуется определить порядок локальности и выбрать локально-параметрическую модель.

В качестве локальных моделей предлагается использовать линейную и квадратичную аппроксимации:

$$y(t) = c_1 + c_2 t; \quad (1)$$

$$y(t) = d_1 + d_2 t + d_3 t^2; \quad (2)$$

где

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_2 & w_1 \\ w_3 & w_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}; \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_3 & w_2 & w_1 \\ w_4 & w_3 & w_2 \\ w_5 & w_4 & w_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}; \quad (4)$$

$\Delta t$  – время квантования.

Система уравнений (5)–(6) является результатом применения ме-

тогда наименьших квадратов. В отличие от других весовых функций, не требует большого количества вычислений.

$$w_j = (t_1)^{j-1} + (t_2)^{j-1} + \dots + (t_N)^{j-1} \quad (5)$$

$$b_j = (t_1 x_1)^{j-1} + (t_2 x_1)^{j-1} + \dots + (t_N x_N)^{j-1} \quad (6)$$

$$t_k = [0 \Delta t \ 2\Delta t \ \dots \ (N-2)\Delta t \ (N-1)\Delta t] \quad (7)$$

Для формирования выходного значения  $y_i$  может быть использовано любое значение  $t = t_s$  в диапазоне аппроксимации  $[0 \ (N-1)\Delta t]$ . В зависимости от величины  $N$  и особенности шумов  $t_k$  имеет свое оптимальное значение. Проведенные исследования показали, что

$$|y_i(t_s) - y_s| \quad (8)$$

имеет параболическую зависимость, минимум которой находится в первой половине диапазона аппроксимации, где  $y_s$  – истинное значение параметра.

Участки трендов аппроксимировались квадратичным уравнением в рамках выбранного окна. Оптимальная ширина окна выбиралась таким образом, чтобы окно не превышало длину минимального спада или подъема участков изменения полезного сигнала.

Группа (рисунки 1–3) графиков показывает переходные процессы после воздействия (разовый цвет) на ленту и результат сглаживания с помощью собственного алгоритма с включение механизма борьбы с помехами (зеленый) и без (черный).

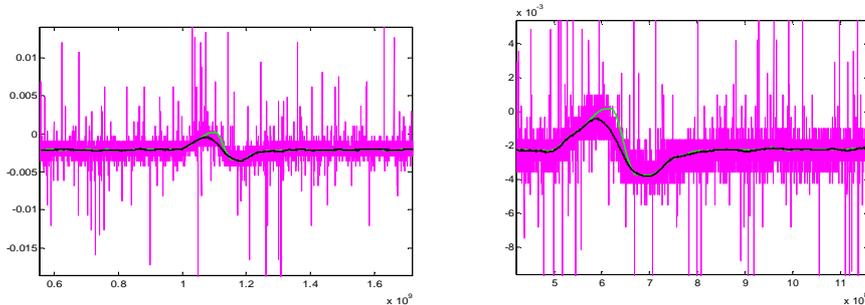


Рисунок 1 – Переходные процессы при ленте без мешков и при силе натяжения: а)  $T=700$ кгс, б)  $T=500$ кгс

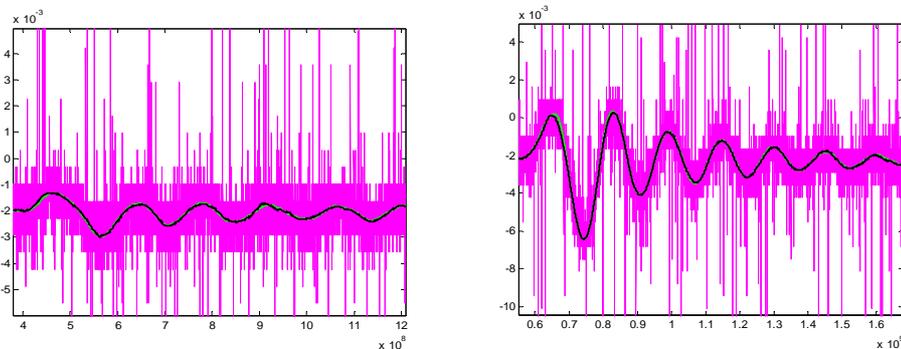
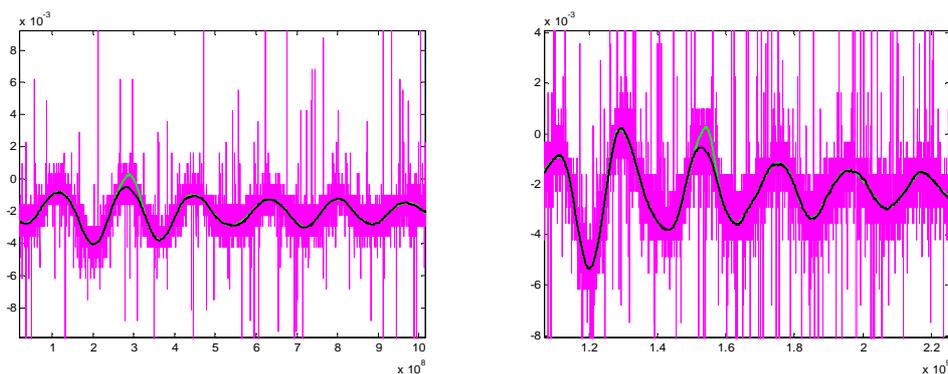


Рисунок 2 – Переходные процессы при ленте с одним мешком и при силе натяжения: а)  $T=700$ кгс, б)  $T=500$ кгс



**Рисунок 3 – Переходные процессы при ленте с двумя мешками и при силе натяжения: а)  $T=700$ кгс, б)  $T=500$ кгс**

Следует отметить отличия в переходных процессах при пустой ленте и её последующем нагружении. Ввиду низкого натяжения ленты наблюдались длительные переходные процессы и интерференции колебаний от сложного взаимодействия груза, ленты и ударного механизма. Это и объясняет отсутствие линейной зависимости частоты на всем диапазоне нагрузок. Частота (период) определялась по временному интервалу между максимумом и последующим минимумом.

Исходя из всего этого можно сделать вывод, что измерение расхода сыпучих материалов на конвейерной ленте с помощью ее колебаний возможно. Также можно отметить, что использование локальной параболической аппроксимации позволяет существенно улучшить сглаживание. Разработанная методика подтвердила свои положительные стороны и позволила решать вопросы, которые были поставлены перед экспериментальной установкой.

УДК 536.27:519.868

Студ. С. О. Панков, Д. А. Солощенко

Науч. рук. доц. Ю. П. Барметов

(кафедра информационных и управляющих систем, ВГУИТ)

**АДАПТАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ТЕПЛООБМЕННИКА ТИПА «РЕАКТОР ИДЕАЛЬНОГО  
ВЫТЕСНЕНИЯ В РЕАКТОРЕ ИДЕАЛЬНОГО СМЕШЕНИЯ»  
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ**

Процессы нагрева и охлаждения различных сред в теплообменниках типа «реактор идеального вытеснения в реакторе идеального смешения» широко используются в различных областях. К таким объектам относятся кожухотрубные и змеевиковые теплообменники, котельные установки, конвейерные печи и т. п.

Особенностью математического описания этих объектов является наличие частных производных по координатам реактора идеального вытеснения. Так дифференциальные уравнения для температур сред в трубчатом реакторе идеального вытеснения и реакторе идеального смешения при допущениях, что среды в обеих полостях теплообменника невязкие и несжимаемые; стенки трубы и корпуса теплообменника тонкие, их массы малы по сравнению с массами сред в полостях; потери тепла от корпуса теплообменника в окружающую среду отсутствуют; перемешивание в поперечном сечении трубы идеальное, в продольном – идеальное вытеснение; коэффициенты теплоотдачи от сред к стенке трубы постоянны и не зависят от температуры, имеют вид [1]:

$$G_1 c_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + \pi r^2 c_1 \rho_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} = \pi r \alpha_{1,c} [\theta_{2,k}(\tau) - \theta_1(\tau, x)], \quad (1)$$

$$M_2 c_2 \frac{d\theta_{2,k}}{d\tau} + (G_2 c_2 + \pi r L \alpha_{2,c}) \theta_{2,k}(\tau) = \pi r \alpha_{2,c} \int_0^L \theta_1(\tau, x) dx + G_2 c_2 \theta_{2,n}(\tau), \quad (2)$$

температура стенки трубы

$$\theta_c(\tau, x) = [\theta_{2,k}(\tau) + \theta_1(\tau, x)] / 2,$$

где  $G$ ,  $c$ ,  $\rho$ ,  $\theta$  – расход, удельная теплоемкость, плотность и температура среды, причем, индекс 1 соответствует параметрам среды в трубе, индекс 2 – в реакторе смешения;  $\theta_{2,n}$ ,  $\theta_{2,k}$  – температуры среды на входе в реактор идеального смешения и выходе;  $r$  – радиус трубы;  $\alpha_{1,c}$ ,  $\alpha_{2,c}$  – коэффициенты теплоотдачи от сред к стенке трубы;  $\tau$  – время;  $x$  – продольная координата реактора идеального вытеснения;  $M_2$  – масса среды в реакторе идеального смешения;  $L$  – длина трубы.

Проблема использования этих уравнений для синтеза систем управления заключается в большом объеме вычислений при реализации программы численного расчета переходных процессов и нелинейность уравнений вследствие наличия произведений внешних воздействий (расходов) и переменных координат объекта (температур).

Для преодоления второй проблемы в работе [1] проведена линеаризация уравнений и разделение их на уравнения статики и динамики.

В установившемся режиме при постоянных расходах сред и постоянных их температурах на входе теплообменника система уравнений (1), (2) после преобразования принимает вид:

$$\frac{d\theta_1}{dx} + \frac{\pi r \alpha_{1,c}}{G_1 c_1} \theta_1(x) = \frac{\pi r \alpha_{1,c}}{G_1 c_1} \theta_{2,k}, \quad (3)$$

$$(G_2 c_2 + \pi r L \alpha_{2,c}) \theta_{2,k} = \pi r \alpha_{2,c} \int_0^L \theta_1(x) dx + G_2 c_2 \theta_{2,n}. \quad (4)$$

Решение системы (3), (4):

$$\theta_1(x) = c_1 \cdot \exp(-Ax) + c_2, \quad (5)$$

$$\theta_{2,k} = \frac{B \cdot c_1}{A} [1 - \exp(-AL)] + B \cdot L \cdot c_2 + D \cdot \theta_{2,H}, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{\pi r \alpha_{1,c}}{G_1 c_1}, \quad B = \frac{\pi r \alpha_{2,c}}{(G_2 c_2 + \pi r L \alpha_{2,c})}, \quad D = \frac{G_2 c_2}{(G_2 c_2 + \pi r L \alpha_{2,c})}.$$

Линеаризованные уравнения динамики, полученные из уравнений (1), (2) путем разложения их составляющих в ряд Тейлора в окрестности установившихся значений, удаления постоянных слагаемых и слагаемых с производными выше второго порядка, будут иметь вид:

$$G_{1,0} c_1 \frac{\partial \Delta \theta_1(\tau, x)}{\partial x} + \pi r^2 c_1 \rho_1 \frac{\partial \Delta \theta_1(\tau, x)}{\partial \tau} = \pi r \alpha_{1,c} [\Delta \theta_{2,k}(\tau) - \Delta \theta_1(\tau, x)] - \Delta G_1(\tau) c_1 \left. \frac{\partial \theta_1(\tau, x)}{\partial x} \right|_{\tau=0}, \quad (7)$$

$$M_2 c_2 \frac{d \Delta \theta_{2,k}}{d \tau} + (G_{2,0} c_2 + \pi r L \alpha_{2,c}) \Delta \theta_{2,k}(\tau) = \pi r \alpha_{2,c} \int_0^L \Delta \theta_1(\tau, x) dx + \Delta G_2(\tau) c_2 (\theta_{2,H0} - \theta_{2,k0}) + G_{2,0} c_2 \Delta \theta_{2,H}(\tau), \quad (8)$$

где  $G_{1,0}$ ,  $G_{2,0}$  – значения расходов в начальный момент времени;  $\Delta G_1(\tau)$ ,  $\Delta G_2(\tau)$  – отклонения расходов во времени от начальных;  $\Delta \theta_1(\tau, x)$ ,  $\Delta \theta_{2,H}(\tau)$ ,  $\Delta \theta_{2,k}(\tau)$  – отклонения температур от начальных;  $\left. \frac{\partial \theta_1(\tau, x)}{\partial x} \right|_{\tau=0}$  – профиль производной температуры по длине трубы в начальном момент времени;

$\theta_{2,H0}$ ,  $\theta_{2,k0}$  – значения температур среды на входе и выходе реактора идеального смешения в начальный момент времени.

Применяя преобразования Лапласа к уравнениям, упрощая и интегрируя по координате  $x$  первое уравнение, полученное из (7), получаем уравнение для реактора идеального вытеснения в преобразованиях Лапласа для переменных  $\Delta G_2(s)$  и  $\Delta \theta_1(s, x)$ :

$$\begin{aligned} & \{ [A_1(s) - B_1(s)L] \cdot A_1(s) + B_1(s) - B_1(s)e^{-A_1(s)L} \} \Theta_1(s, x) = \\ & = D_1(s) \cdot A_1(s) \cdot (1 - e^{-A_1(s)x}) \Delta G_2(s) + \\ & + \{ [A_1(s) - B_1(s)L] \cdot A_1(s) \cdot e^{-A_1(s)x} + B(s) [1 - e^{-A_1(s)L}] \} \Delta \Theta_{1,0}(s), \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$A_1(s) = \pi r \frac{rc_1 \rho_1 s + \alpha_{1,c}}{G_{1,0} c_1} = a_1 s + a_0;$$

$$B_1(s) = \frac{\pi r \alpha_{1,c}}{G_{1,0} c_1} \frac{\pi r \alpha_{2,c}}{M_2 c_2 s + G_{2,0} c_2 + \pi r \alpha_{2,c} \cdot L} = \frac{b}{b_1 \cdot s + b_0};$$

$$D_1(s) = \frac{\pi r \alpha_{1,c}}{G_{1,0} c_1} \frac{c_2 (\theta_{2,h} - \theta_{2,k0})}{M_2 c_2 s + G_{2,0} c_2 + \pi r \alpha_{2,c} \cdot L} = \frac{d}{b_1 \cdot s + b_0}.$$

Подставим в уравнение (9) выражения для  $A_1(s)$ ,  $B_1(s)$ ,  $D_1(s)$

$$\left[ (a_1 s + a_0)^2 (b_1 \cdot s + b_0) - b \cdot (a_1 s + a_0) \cdot L + b - b \cdot e^{-(a_1 s + a_0)L} \right] \Theta_1(s, x) =$$

$$= d \cdot (a_1 s + a_0) \cdot (1 - e^{-(a_1 s + a_0)x}) \Delta G_2(s) +$$

$$+ \left\{ [(a_1 s + a_0)^2 (b_1 \cdot s + b_0) - b \cdot (a_1 s + a_0) \cdot L] \cdot e^{-(a_1 s + a_0)x} + b - b \cdot e^{-(a_1 s + a_0)L} \right\} \cdot \Delta \Theta_{1,0}(s),$$

раскроем скобки, упростим и перейдем во временную область. Получим уравнение динамики с запаздывающим аргументом вида:

$$K_3 \cdot \theta_1'''(\tau) + K_2 \cdot \theta_1''(\tau) + K_1 \cdot \theta_1'(\tau) + K_0 \cdot \theta_1(\tau) - b \cdot e^{-a_0 \cdot L} \cdot \theta_1(\tau - a_1 \cdot L) =$$

$$= d \cdot \left[ a_1 \cdot \frac{d\Delta G_2(\tau)}{d\tau} + a_0 \cdot \Delta G_2(\tau) \right] -$$

$$- e^{-a_0 \cdot x} \cdot d \cdot \left[ a_1 \cdot \frac{d\Delta G_2(\tau - a_1 \cdot x)}{d\tau} - a_0 \cdot \Delta G_2(\tau - a_1 \cdot x) \right] \dots,$$

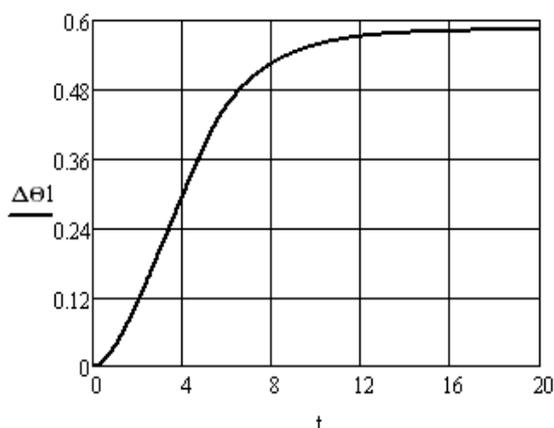
где  $K_i$  – коэффициенты уравнения, выражаемые через параметры теплообменника.

Для проверки описанной выше математической модели в уравнениях статики и динамики был выбран U-образный кожухотрубный теплообменник [2] с характеристиками: длина внутренней части кожуха 3 м; радиус кожуха – 0,75 м, количество трубок – 65шт; радиус трубок - 4 мм.

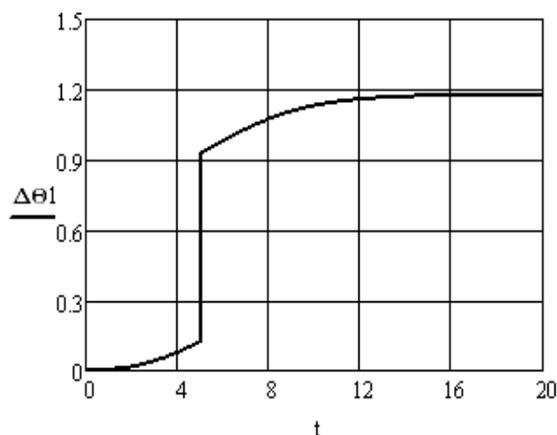
В качестве продукта выступает молоко с начальной температурой 20 °С, а в качестве теплоносителя вода с начальной температурой 70 °С. Расход продукта 4 кг/с, расход теплоносителя 11 кг/с.

Решив уравнения статики (5), (6) получили температуру молока на выходе теплообменника 40,5 оС, а теплоносителя 54,4 оС. Решая уравнение динамики по конечно-разностной схеме, получили следующие графики изменения температуры молока на выходе по времени (рисунки 1, 2).

Проведя анализ результатов, и проверив их на предмет соответствия физическим представлениям о процессах, протекающих в кожухотрубном теплообменнике, делаем вывод, что математическая модель работает корректно, решение занимает очень мало времени и в дальнейшем данную модель можно использовать для синтеза автоматической системы управления работой теплообменников типа «реактор идеального вытеснения в реакторе идеального смешения».



**Рисунок 1 – Изменение температуры молока на выходе теплообменника при изменении расхода теплоносителя на 1 кг/с**



**Рисунок 2 – Изменение температуры молока на выходе теплообменника при изменении начальной температуры на 2 °C**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барметов Ю.П. Линеаризованная модель теплообменника «реактор идеального вытеснения в реакторе идеального смешения» [Текст] : / Сборник статей V международной научно-практической интернет- конференции «Моделирование энергоинформационных процессов» - Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. С.12-16.

2. Остриков, А. Н Расчет и проектирование теплообменников [Текст] : учебник / А. Н. Остриков, А. В. Логинов, А. С. Попов, И. Н. Болгова ; М-во образования и науки Российской Федерации, ГОУВПО "Воронежская государственная технологическая академия". - Воронеж : ВГТА, 2011. - 427 с.

УДК 681.5

Студ. С.Н. Клындюк, В.Ч. Лакуцевич  
Науч. рук., доц. В.В. Сарока

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

#### **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВОДОПОДГОТОВКОЙ**

Цель процесса – обеззараживать сточной воды, до уровня бактерий соответствующего СанПиН 2.1.5/980-00.

В ходе работы любых предприятий обязательно образуются сточные воды, загрязненные взвешьями, нефтепродуктами и поверхност-

но-активными веществами. Их разделяют на:

Сточные воды содержащие неорганические примеси (в том числе токсичные).

Это воды содовых, сульфатных, азотно-туковых заводов, обогатительных фабрик, в которых содержатся кислоты, щелочи, ионы тяжелых металлов. Сточные воды этой группы в основном изменяют физические свойства воды.

Сточные воды содержащие органические примеси.

Эти воды сбрасывают нефтеперерабатывающие и нефтехимические заводы, предприятия органического синтеза, коксохимические. В стоках содержатся различные нефтепродукты, аммиак, альдегиды, смолы, фенолы и другие вредные вещества.

Вредоносное действие сточных вод этой группы заключается, главным образом, в окислительных процессах, вследствие которых уменьшается содержание кислорода в воде.

Сточные воды содержащие неорганические и органические загрязняющие примеси.

Эти воды образуются в процессах гальванохимической обработки поверхностей, производстве печатных плат электронной техники, в коксохимических и других технологических процессах. В составе этих стоков присутствуют неорганические кислоты, ионы тяжелых металлов, ПАВ, масла, красители, смолы и другие вещества.

Современные станции очистки сточных вод в значительной мере освобождают воду не только от механических и химических загрязнений, но и от патогенной микрофлоры. Совершенствование систем очистки позволяет в большей степени снизить бактериальную загрязненность и повысить качество воды. Однако даже самые высокоэффективные очистные сооружения не обеспечивают дезинфекции стоков без специальных устройств обеззараживания.

Рассмотрим процесс обеззараживания воды с помощью ультрафиолетового излучения.

Установка обеззараживания состоит из одной технологической линии с 5 УФ излучателями: 4 рабочие, одна резервная, которая предусмотрена для обеспечения вывода одной из действующих установок в ремонт или промывку, без ухудшения качества обрабатываемой воды. Подача воды производится из насосной станции. Вода наполняет установку ультрафиолетового обеззараживания (далее – УФО), до подачи сигнала датчика верхнего уровня, где проходит стадию обеззараживания излучением ультрафиолетом. После УФО обеззараживания воды, открывается клапан для отвода воды в выходной коллектор, и вода поступает в водоем.

Для эффективной работы устройства обеззараживания, необходимо периодически промывать кварцевый чехол, в котором располагаются излучатели (не реже 1 раза в 6 месяцев).

Цель процесса – обеззараживая сточной воды, до уровня бактерий соответствующего СанПиН (на 100мл  $\leq$  500 КОЕ).

Установка УФО сточной воды, состоит из:

- 1) Шкафа управления технологическим процессом;
- 2) Трубопровод, подводящий сточную воду;
- 3) Трубопровод, отводящий обеззараженную сточную воду;
- 4) Установка УФО;

Показателем качества работы аппарата, служит количества образующих единиц (далее – КОЕ).

В существующей системе не предусмотрен автоматический контроль за интенсивностью ультрафиолетового излучения лампы, которая уменьшается со временем из-за покрытия лампы налетом. Следовательно, невозможно организовать систему автоматической промывки кварцевого чехла. Для создание подобной системы понадобится:

Установить датчик излучения;

Установить емкость, в которой будет подготавливается жидкость на промывку;

Установить насос, который, будет прогонять жидкость через аппарат УФО;

Запрограммировать в ПЛК алгоритм работы, режима промывки.

Так же, отсутствует регулирования КОЕ в обеззараженной воде, и за чего, невозможно оперативно удостовериться в выполнении СанПиН. Предположительно для создание подобной системы понадобится:

Установить датчик КОЕ, на выходе из аппарата УФО;

Установить датчик мутности, на входе в аппарат УФО;

Запрограммировать в ПЛК алгоритм АСУ ТП.

Для получения математической модели воспользуемся полученными экспериментальными данными, представленными на рисунке.

На основе экспериментальных данных с помощью метода площадей можно получить передаточную функцию объекта, которая будет представлена в безразмерном виде и примет вид:

$$W(p) = \frac{-3}{10.6+1}$$

Для получения передаточной функции по каналу возмущения  $Wf(p)$ , воспользуемся экспериментальными данными, полученными при значительном уменьшении ультрафиолетового излучения.

Определение передаточной функции осуществляется методом площадей. По расчету получится передаточная функция в относитель-

ных единицах:

$$W_f(p) = \frac{1,5}{7,8p + 1};$$

В процессе ультрафиолетового обеззараживания регулирующим органом применяем электромагнитный клапан. Исполнительным механизмом является электромагнитный привод, его передаточная функция:

$$W_d(p) = \frac{1}{2p + 1}$$

Передаточная функция датчика КОЕ:

$$W_d(p) = \frac{1}{1,4p + 1}$$

Выбором типа регулятора подразумевает выбор простейшего закона регулирования, а, следовательно, наиболее дешевого и простого в эксплуатации промышленного регулятора.

Наличие статической погрешности в системах с П-регулятором и ПД-регулятором не позволяет использовать эти регуляторы для данной системы. ПИ-регулятор за счет наличия интегральной составляющей позволяет компенсировать погрешность.

$$K_p = 0,412;$$

$$K_i = 0,0378.$$

Для учета нелинейности в системе необходимо добавить блок гистерезиса, который будет отражать люфт клапана. Переходной процесс системы комбинированного управления с нелинейностью представлен на рисунке 1:

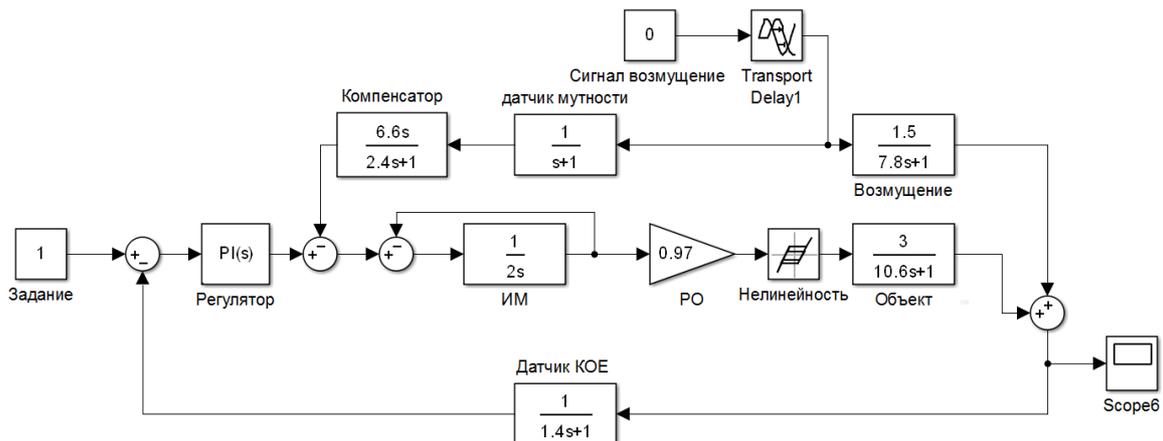
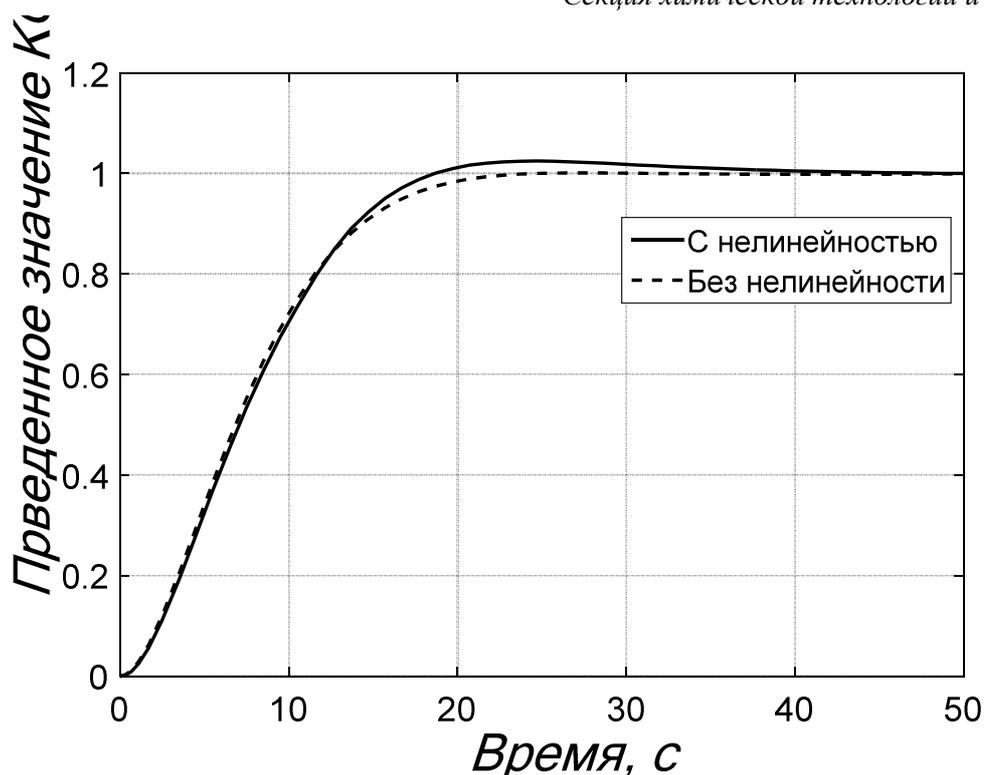


Рисунок 1 – Структура комбинированной АСР с нелинейностью



**Рисунок 2 – Переходной процесс системы комбинированного управления с нелинейностью**

Данная система имеет следующие показатели качества переходного процесса:

времени регулирования: 17 сек;

статическая ошибка: 0%.

перерегулирования: 2%

УДК 681.5

Студ. А.А. Василевич, А. В. Косолапов

Науч. рук. доц. С.Е. Жарский

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЯ**

Источник информации: ОАО «Беларускабель», техническое задание.

Цель процесса – получение профиля из полиэтиленовой смеси (ПС) за счет поддержания заданных режимов работы: а) температуры по камерам экструдера ( $T_1= 30-40$  оС;  $T_2= 180$  оС;  $T_3=200$  оС;  $T_4=230$  оС), посредством управления нагревательными элементами; б) стаби-

лизации частоты вращения шнека ( $S_{ш}$ ) по давления в экструзивной головке ( $P$ ).

Штифтовый экструдер (диаметром 140 мм и длиной 2300 мм) условно разбит на 3 камеры: питания (процесс загрузки сырья), пластификации (процесс пластификации) и головку (процесс дозирования).

Полиэтиленовая смесь ( $F^*_{пс}$ ) подается в форме гранул с помощью валков в первую камеру экструдера. В целях безопасности в этой камере установлен датчик уровня, если уровень смеси в блоке превысит допустимое значение ( $L_{кс} > 90\%$ ), сработает противоаварийная защита и подача каучуковой смеси будет прекращена. В нижней части камеры находится шнек (диаметром 159.4 мм), который приводится в движение (двигатель  $M1$ ), вращаясь с заданной скоростью ( $S_{ш} = 60$  об/мин). Он затягивает гранулы полимера во вторую и третью камеру, где гранулы плавятся, и подается в экструзионную головку. В специальной экструзионной головке расплав продавливается сквозь каналы в фильтере (специальные, высокопрочные формы, через которые продавливают различные пластические вещества, основное требование к фильтерам — низкая химическая активность и истираемость, в противном случае происходит быстрый износ, ведущий к изменению формы отверстий в фильтере). Максимальная производительность 180 кг/ч при максимальной частоте оборотов шнека ( $S_{ш} = 80$  об/мин).

На протяжении всего процесса экструзии происходит выделение тепла, оно отводится с помощью системы охлаждения, состоящей из каскада вентиляторов на ( $T1, T2, T3, T4$ ) в соответствующих зонах аппарата.

В итоге на выходе экструдера получают кабель (токопроводящая жила с изоляцией из полимерной смеси) нужной толщины (определяется толщиной изоляции, которая зависит от скорости протяжки) и определенными характеристиками (определяется технологическим процессом, т.е. поддерживаемыми при производстве параметрами).

При построении систем автоматизации производственных процессов определяют технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию, а так же выявляют точки введения управляющих воздействий и каналы их прохождения по объекту. С этой целью составляют схему взаимных воздействий технологических параметров объекта, выделяют основные и дополнительные каналы прохождения сигнала, а затем выявляют контуры регулирования, компенсирующие колебания технологических параметров на входе аппарата. При необходимости контуры регулирования связывают между собой, и контролируемые величины выбирают так, что бы их число было минималь-

ным, но достаточным для полного представления о ходе протекания технологического процесса.

К АСУ ТП выдвигаются следующие требования:

а) автоматического регулирования температуры в зонах цилиндра шнека и частоты вращения электропривода шнека и принимающего устройства;

б) контроля расхода исходного сырья в бункере загрузки;

в) контроля давления сухого пара на входе и выходе осушителя;

г) управления автоматическими клапанами на трубопроводах;

д) контроля и автоматического регулирования диаметра провода;

е) контроля работы насоса охлаждающей жидкости;

ж) контроля аварийных и измерения текущих уровней температуры, давления и значений диаметра провода;

и) отображения информации о ходе технологического процесса: состояний технологических параметров, состояний оборудования;

к) безаварийного останова технологических объектов при аварийных ситуациях;

л) измерения расхода исходного сырья;

м) формирования отчетов за смену, сутки, накопленным итогом и вывода их на печать;

н) формирования журналов аварий и событий с возможностью вывода на печать;

п) формирования архивных трендов технологических параметров с возможностью масштабирования, выбора определенных интервалов времени для просмотра и вывода на печать.

В качестве регулируемого технологического параметра в процессе экструзии выступает температура расплава полимера на выходе экструдера (в зоне дозирования), являющийся одним из основных. Именно от температуры зависит содержание воздушных пузырьков в нити. Формирование температуры расплава происходит на протяжении всего времени пребывания материала в экструдере, однако именно в зоне дозирования устанавливается конечная температура полимера. В качестве алгоритма регулирования будет использоваться алгоритм ПИД-регулирования, исправляющий недостатки П- и ПИ-регулирования.

Для технологического процесса требуется поддержание температура расплава полимера в зоне дозирования в 220 - 230°C в зависимости от уставки, с возможным перерегулированием не более 5%. Такое условие необходимо для правильной химической реакции всех компонентов полимера.

Предусмотрены САР и системы сигнализации, можно выделить 4 ре контура регулирования:

Поддержание температуры расплава в экструдере с помощью рукавных нагревателей с обратной связью через датчики температуры, расставленные на протяжении всего корпуса экструдера.

Контроль давления расплава в головке экструдера с помощью регулирования частоты вращения шнека с обратной связью через датчик давления и энкодер.

Синхронизация приводов шнека, натяжного устройства и наматочного устройства для обеспечения равномерного покрытия изоляции и отсутствия провисания проводов с обратной связью через энкодеры.

Предварительный подогрев материала с помощью открытия паропровода и измерение итоговой температуры в бункере загрузки.

Для технической реализации поставленной задачи необходимо использовать микропроцессорный контроллер, который обладает для этого достаточной информационной и вычислительной мощностью. В проекте использован совместимый многофункциональный контроллер PLC I-8000 фирмы ICP DAS. Контроллер имеет неплохой процессор и высокоскоростные коммуникационные средства на базе RS-485.

В процессе нанесения изоляции на жилу кабель в качестве регулирующих органов применяют твердотельное реле. Это электронное устройство позволяющая коммутировать и разрывать цепь с большой частотой (относительно механического реле) что позволяет управлять нагревателями посредством широтно-импульсной модуляции.

В качестве регулирующего органа в экструдере выступают кольцевые нагреватели, которые поддерживают заданную температуру расплава в экструдере. Передаточную характеристику нагревателей можно получить, проанализировав разгонную характеристики, а исполнительного механизма (ТТР) представим как реле управляемое ШИМ сигналом с контроллера.

При автоматизации производственных процессов чаще всего задача синтеза сводится к выбору наиболее подходящего типового регулятора П, ПИ, ПИД – законами регулирования и определению его параметров настройки, обеспечивающих требуемый переходный процесс.

Под выбором типа регулятора подразумевается выбор простейшего закона регулирования, а следовательно, наиболее дешевого и простого в эксплуатации промышленного регулятора, обеспечивающего при различных возмущениях в заданных пределах: динамическую погрешность; время регулирования; статическую погрешность.

Наличие статической погрешности в системах с П-регулятором и ПД-регулятором не позволяет использовать эти регуляторы для данной системы. ПИ-регулятор за счет наличия интегральной составляющей позволяет компенсировать погрешность.

Задачей определения параметров настройки регулятора является определение величины коэффициентов в уравнении регулятора, которые позволяют получить требуемый характер переходного процесса регулирования.

Перед тем, как рассчитывать параметры регулятора, необходимо сформулировать цель и критерии качества регулирования, а также ограничения на величины и скорости изменения переменных в системе. Традиционно основные качественные показатели формулируются исходя из требований к форме реакции замкнутой системы на ступенчатое изменение уставки. Однако такой критерий очень ограничен. В частности, он ничего не говорит о величине ослабления шумов измерений или влияния внешних возмущений, может дать ошибочное представление о робастности системы.

В общем случае выбор показателей качества не может быть формализован полностью и должен осуществляться исходя из смысла решаемой задачи.

Выбор критерия качества регулирования зависит от цели, для которой используется регулятор. Такой целью может быть: поддержание постоянного значения параметра (например, температуры); слежение за изменением уставки или программное управление; управление демпфером в резервуаре с жидкостью и т.д.

Для той или иной задачи наиболее важными могут быть следующие факторы: форма отклика на внешнее возмущение (время установления, перерегулирование, коэффициент затухания и др.); форма отклика на шумы измерений; форма отклика на сигнал уставки; робастность по отношению к разбросу параметров объекта управления; требования к экономии энергии в управляемой системе; минимум шумов измерений и др.

УДК 621.37

Студ. В.А. Швейкус, А.В. Фоменко  
Науч. рук. доц. Д.С. Гринюк; ст. преп. Сухорукова  
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **ДЕКОМПОЗИЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕКТИФИКАЦИЕЙ НЕФТИ**

Системы дистилляции сырой нефти, состоящие из ректификационных колонн сырой нефти и связанных с ними систем рекуперации тепла, отличаются высокой энергоемкостью. Тепло-комплексное проектирование систем переработки нефти может предоставить возможно-

сти для нахождения энергоэффективных проектных решений. Модели дистилляции узких фракций, основанные на модели Фенске, были применены для моделирования ректификационных колонн сырой нефти из-за таких преимуществ как простота и в тоже время надежность.

Состояние полного орошения может быть достигнуто с помощью ограничения подачи сырья ректификационной колонны и выхода продуктов, с очень высоким коэффициентом орошения; или без дальнейшей подачи сырья, а также без изъятия продуктов и поддержания внутреннего кипения и орошения. Колонна, представленная здесь, является простой обычной колонной, которая имеет следующие особенности: одноканальная подача, дистиллят, кубовая жидкость, многоступенчатая колонка с одним конденсатором наверху и одним теплообменником внизу. Метод предполагает, что диаметр колонны, холодильник-конденсатор и испаритель достаточно велики, чтобы управлять внутренним орошением и испарением, требуемым для достижения состояния полного орошения.

Фенске разработал набор уравнений для подсчета минимального числа стадий для заданного разделения.

Для бинарного разделения, уравнение Фенске принимает вид:

$$\left(\frac{x_A}{x_B}\right)_d = (\alpha_{AB})^{N_{\min}} \square \left(\frac{x_A}{x_B}\right)_b$$

Уравнение Фенске для многокомпонентной смеси представлено в виде:

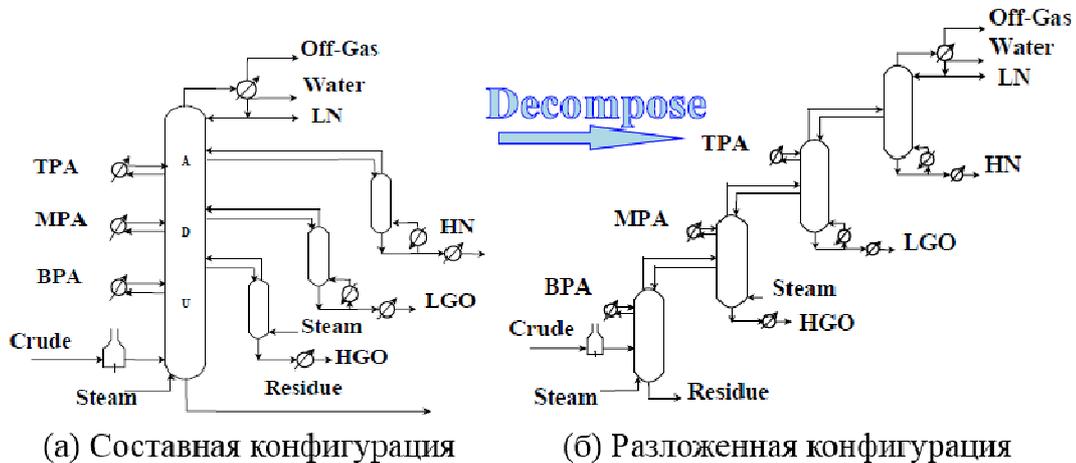
$$\left(\frac{x_{LK}}{x_{HK}}\right)_d = (\alpha_{LK,HK})^{N_{\min}} \square \left(\frac{x_{LK}}{x_{HK}}\right)_b$$

Простота метода Фенске является преимуществом для прогнозирования составов продукта, особенно для смеси с участием большого количества компонентов, таких как дистилляция сырой нефти или другие разделения в нефтяной промышленности.

Либманн предложил комплексный подход к проектированию тепловых интегрированных систем дистилляции сырой нефти. В его работе атмосферная колонна была смоделирована с использованием коммерческого пакета моделирования, то есть Aspen Plus и результирующие кривые использовались для оценки соответствующей конструкции интегрированной колонны дистилляции сырой нефти. Либманн разложил дистилляционную колонну в последовательность простых колонн как показано на рисунке 1.

Основным преимуществом подхода, представленного Либманном, является то, что конструкция колонны дистилляции сырой нефти и связанная с ней система восстановления тепла рассматривались одновременно. Однако конструкция колонны Либманна была выполнена

точными моделирующими системами, которые с трудом можно свести воедино.



(а) Составная конфигурация

(б) Разложенная конфигурация

**Рисунок 1 – Декомпозиция колонны атмосферной дистилляции**

Метод Фенске фокусируется на балансах компонентов материала и может обеспечить гораздо более простой путь поиска для ключевых компонентов и извлечений. Однако упрощенный метод Фенске сам по себе не использовался для перевода спецификаций продукта из отрасли в технические характеристики упрощенных моделей. Таким образом, требуется оценка метода Фенске для прогнозирования состава продукта.

Оценка метода Фенске поддерживается строгими симуляциями, которые могут обеспечить ключевые компоненты и их извлечения. Затем выбираются и устанавливаются различные пары ключевых компонентов и извлечений, которые задаются в качестве характеристик для модели Фенске, которая затем может предсказать составы продуктов. Этот метод применяется к простой колонне с пароструйной колонной, разложенной комплексной ректификационной колонне и колонне атмосферной дистилляции. В расчетах Фенске применяются как средние геометрические, так и исходные значения относительной испаряемости, и их результаты очень хорошо согласуются друг с другом, поэтому относительная испаряемость сырья может использоваться для приближения геометрических значений. Кривые истинных температур кипения продукта сравниваются с кривыми, основанными на строгих симуляциях и хороших соглашениях в диапазоне от примерно 5 до 95% молей. Оценка метода Фенске на ректификационной колонне основана на симуляциях HYSYS.

Кроме этого данный подход может лечь в основу построения системы адаптивного управления, например, с использованием управления по адаптивной модели.

Линейная модель с пониженным порядком используется в качестве эталонной модели для контроллера MRAC. Контроллер MRAC и PID теоретически позволяет выходным сигналам завода отслеживать контрольные точки для достижения желаемого качества продукта на фоне возмущений и несоответствий модели и установки в качестве влияния нарушений подачи сырья.

Конструкция нового адаптивного контроллера показана на рисунке 2, где мы устанавливаем MRAC и ПИД-регулятор с замкнутым контуром для устранения ошибок между опорными установками и выходами.

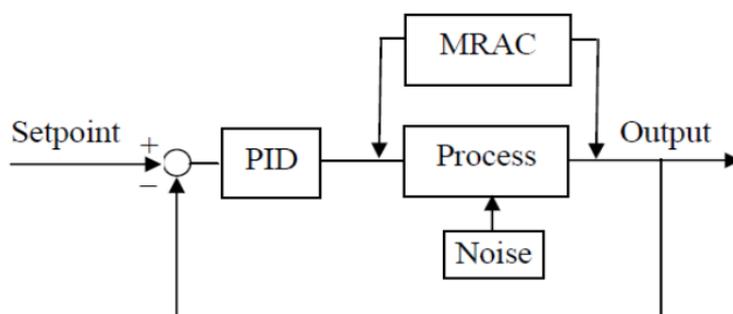


Рисунок 2 – Адаптивное управление с MRAC и ПИД-регулятором

Математическое моделирование конденсатной дистилляционной колонны на основе структуры баланса энергии (L-V) состоит из трех фаз: основная нелинейная модель, полная линеаризованная модель и линейная модель приведенного порядка. Результаты моделирования и анализ полезны для начальных этапов технико-экономического обоснования и проектирования нефтегазового проекта.

Математическая модель нижней секции и котла:

Нижний лоток (этап  $n = 2$ )

Общий баланс массы (1):

$$\frac{d(M_2)}{dt} = L_3 - L_2 + V_B - V_2$$

Компонентный баланс (2):

$$\frac{d(M_2 x_2)}{dt} = L_3 x_3 - L_2 x_2 + V_B y_B - V_2 y_2$$

Энергетический баланс (3):

$$\frac{d(M_B h_B)}{dt} = h_3 L_3 + H_B V_B - h_2 L_2 - H_2 V_2$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{h_3 L_3 + H_B V_B - (L_3 + V_B) h_2}{H_2 - h_2}$$

Рекультивация котла и днища колонны (этап  $n = 1$ )

База столбца имеет некоторые особенности:

Существует тепловой поток с повторным котлом  $Q_b$ , устанавливающий поток кипящего пара  $V_b$ . Задержка переменной и изменения в разумной мере нельзя пренебрегать. Отток жидкости из днища  $B$  определяется извне, чтобы контролироваться контроллером нижнего уровня.

Общий баланс массы (4):

$$\frac{d(M_B)}{dt} = L_2 - V_B - B$$

Компонентный баланс (5):

$$\frac{d(M_B x_B)}{dt} = L_2 x_2 - V_B y_B - B x_B$$

Энергетический баланс (6):

$$\frac{d(M_B h_B)}{dt} = h_2 L_2 + Q_B - h_B B - H_B V_B$$

$$\Rightarrow V_B = \frac{h_2 L_2 + Q_B - h_B B - M_B \frac{dh_B}{dt} - h_B \frac{dM_B}{dt}}{H_B}$$

Когда все уравнения моделирования выше разрешены, мы выясним, как скорость потока и концентрации двух потоков продукта (продукта дистиллята и продукта нижней фракции) изменяются со временем при наличии изменений в различных входных переменных.

УДК 621.37

Маг. Г.Г. Козлов, студ. А.Г. Бирюков

Науч. рук. доц. Д.С. Карпович

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ НА УП «МИНСКИНТЕРКАПС» С ПОМОЩЬЮ КАРТЫ ШУХАРТА**

Контрольная карта Шухарта в управлении производством, бизнес-процессами – визуальный инструмент, график изменения параметров процесса во времени. Контрольная карта используется для обеспечения статистического контроля стабильности процесса. Своевременное выявление нестабильности позволяет получить управляемый процесс, без чего никакие улучшения невозможны в принципе.

Цель построения контрольной карты Шухарта - выявление точек выхода процесса из стабильного состояния для последующего установления причин появившегося отклонения и их устранения.

Задачи построения контрольной карты Шухарта:

определить границы системной вариативности процесса,

спрогнозировать поведение процесса в ближайшем будущем на основе прошлых данных о процессе.

Выходящий параметр процесса всегда имеет изменчивость вследствие воздействия различных факторов (кратковременных отклонений входов и внутренних параметров). Таких факторов обычно много, и поэтому они частично компенсируют друг друга. Вследствие этого в стабильном состоянии выходы процесса лежат в определённом коридоре — зоне системной вариативности процесса. Вероятность выхода параметра за пределы этого коридора не равна нулю, но, как правило, мала.

При введении контрольных карт в организации важно определить первоочередные проблемы и использовать карты там, где они наиболее необходимы. Сигналы о проблемах могут исходить от систем управления дефектами, от претензий потребителей, от любых процессов организации.

Элементы графика

Контрольные границы - коридор, внутри которого лежат значения при стабильном состоянии процесса. Контрольные границы рассчитываются по формулам, жестко привязанным к типу карты. Эти границы вычисляются по данным о процессе, и никак не связаны с допусками.

CL — центральная линия (обычно среднее значение или медиана

по некоторому объёму данных)

LCL — нижняя контрольная граница

UCL — верхняя контрольная граница

Настоящая статья кратко описывает методы статистической обработки данных, которые применяются при формировании обзора качества лекарственных средств и используются в системе мониторинга процессов на УП «Минскинтеркапс».

В рамках формирования годового обзора по качеству для каждого наименования лекарственного средства проводится статистическая обработка данных. В рамках системы мониторинга процессов и качества продукции при оценке производственного досье для оценки трендов также проводится статистическая обработка данных.

С использованием программы STATISTICA проводится обработка результатов входного контроля АФС (активная фармацевтическая субстанция), контроля промежуточного и нерасфасованного продукта, данных по мониторингу производственного процесса (анализ однородности массы содержимого капсул и оценка возможностей процесса инкапсулирования).

С использованием программы Microsoft Excel осуществляется обработка данных по стабильности лекарственных средств.

Результаты статистической обработки. Карта управления по индивидуальным значениям, результаты входного контроля сырья

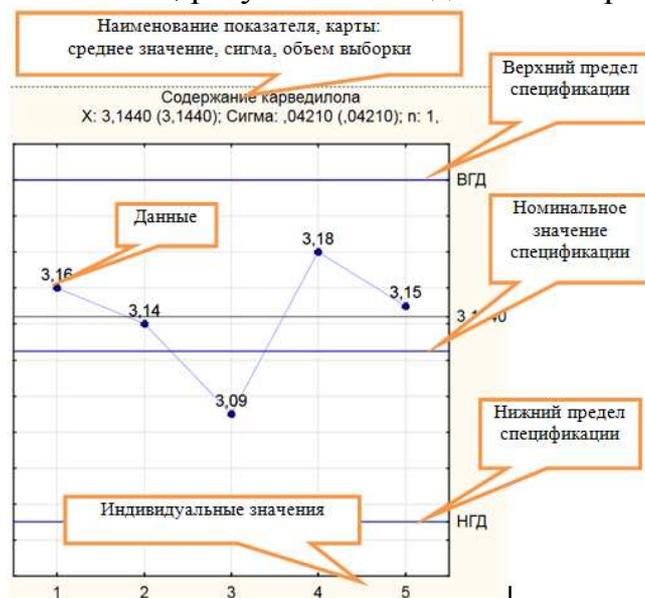


Рисунок 1 – Пример карты управления

Анализ однородности массы содержимого капсул, карта управления по среднему, размаху

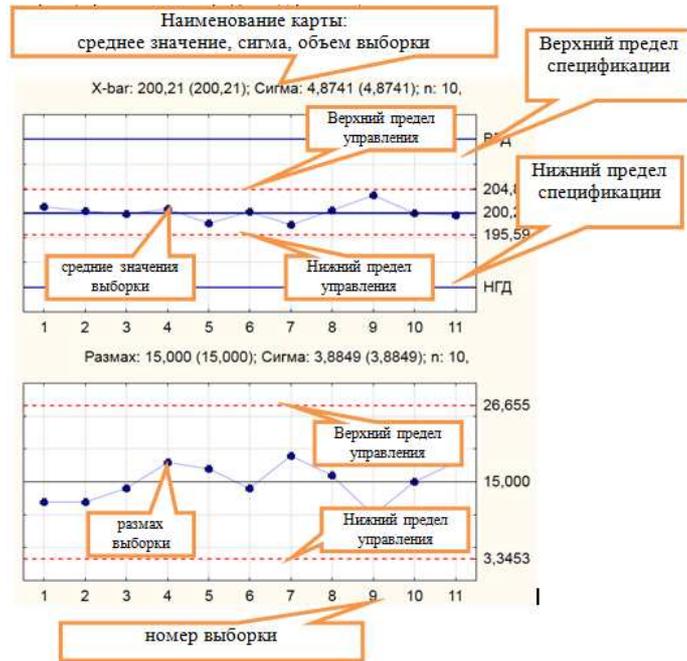


Рисунок 2 – Карта управления по кумулятивным суммам (по среднему)

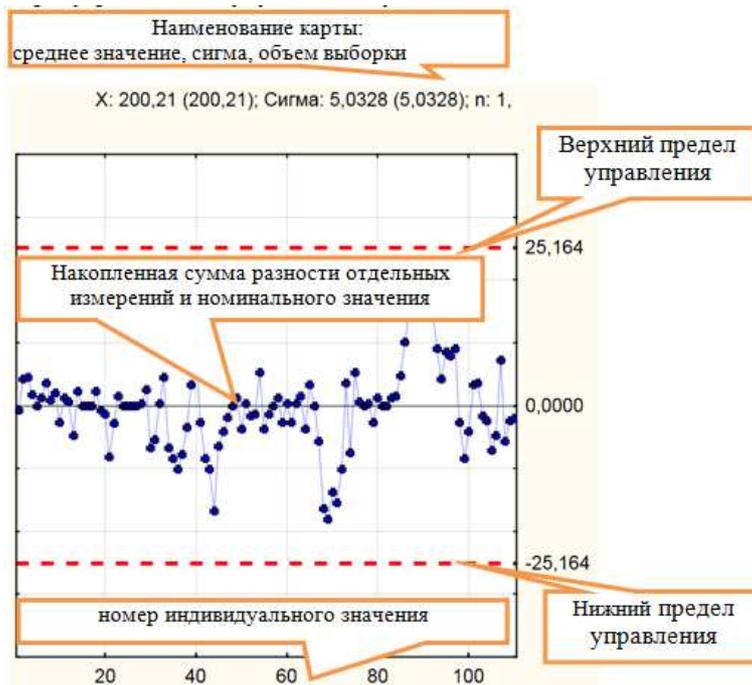


Рисунок 3 – Карта управления по кумулятивным суммам (по размаху)

Проводится анализ карт (статистическая управляемость и стабильность процесса инкапсулирования, наличие либо отсутствие негативных тенденций в процессе инкапсулирования, наличие выходов значений за границы управления).



Рисунок 4 – Гистограмма с наложенной кривой распределения

Статистические критерии, используемые для оценки нормальности распределения, берутся из таблиц

Для оценки данных изучения стабильности лекарственных средств необходимо построить карту управления по индивидуальным значениям и добавить линии тренда (линейная, экспоненциальная, логарифмическая, полиномиальная, степенная) с указанием уравнения аппроксимирующей функции и соответствующего коэффициента аппроксимации. Чем больше значение коэффициента аппроксимации, тем лучше данная функция описывает полученные результаты. Используя уравнение наиболее подходящей функции необходимо спрогнозировать значение показателя качества к окончанию периода изучения стабильности лекарственного средства.

УДК 621.37

Студ. П.Л. Липский, Д. И. Роленок

Науч. рук. доц. Д.С. Гринюк, ст. препод. И.Г. Сухорукова  
 (кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ЭДС В СХЕМЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАСХОДОМЕРА

Электромагнитные расходомеры занимают значительную долю среди приборов, предназначенных для измерения расхода жидкостей. Часто электромагнитное измерение расхода является наиболее опти-

мальным решением. Например, при построении прибора измерения электрокинетического потенциала (ЭКП) использование электромагнитного расходомера обеспечило организацию алгоритма получения основного параметра [1–2], но погрешность измерения ЭКП во многом определяется точностью детектирования объемного расхода при электроосмосе. Малые объемные расходы жидкости в преобразователе ЭКП увеличивают требования к точности измерения расходомера.

Разработанную принципиальную схему электромагнитного расходомера можно разделить на несколько функциональных частей. Алгоритм формирования измерительного сигнала осуществляется с помощью DA1, DD2, DD3, DA4 (рисунок 1). Эти элементы задают частоту и формируют сигнал специальной формы (рисунок 2), который через преобразователь напряжение-ток обеспечивает трапециидальную форму тока через катушку (рисунок 1, I), создающую магнитное поле в измерительном канале.

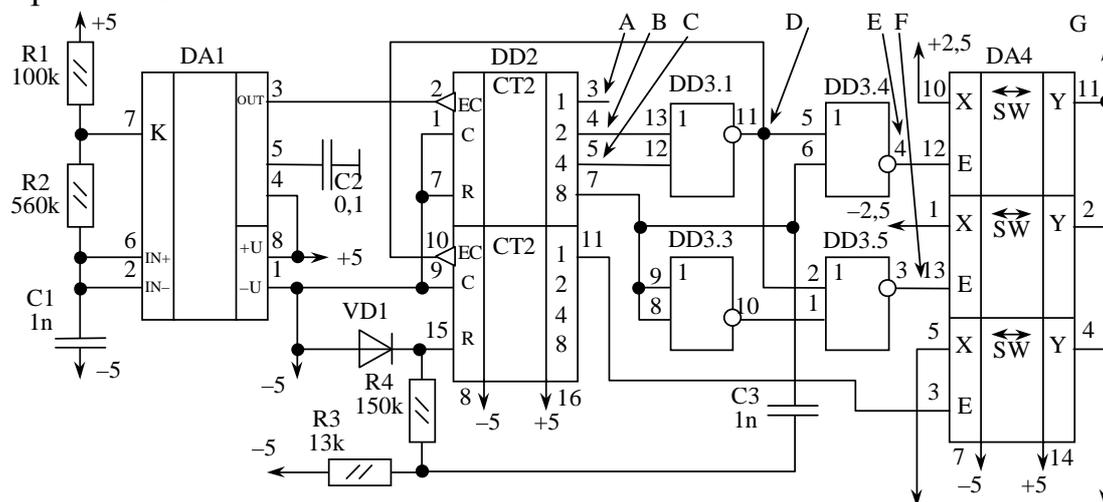


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема

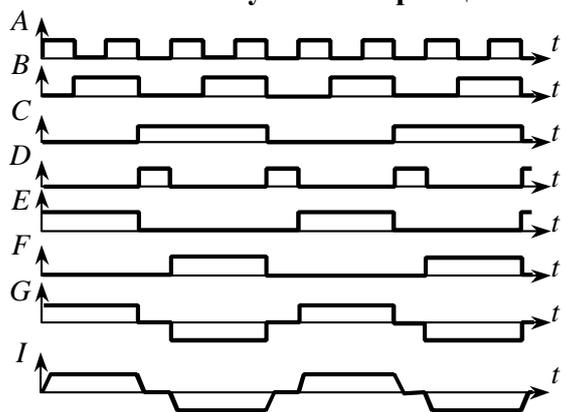


Рисунок 2 – Временные диаграммы

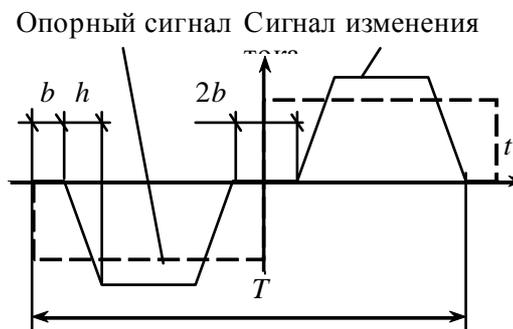


Рисунок 3 – Трапециидальный сигнал

Использование сложного закона изменения тока через катушку вызвано необходимостью нивелирования погрешностей, обусловлен-

ных паразитной трансформаторной ЭДС. Трапециидальная форма тока (рисунок 2) является компромиссным решением получения измерительного сигнала электромагнитного расходомера. Дальнейшее увеличение точности и повышение отношения сигнал/шум (SNR) в измерительном тракте достигается за счет уменьшения мощности трансформаторной ЭДС при оптимизации временных зависимостей закона изменения тока в катушке.

SNR оптимизировали вариацией  $b$  и  $h$  при различных видах трансформаторной ЭДС. С достаточной точностью можно допустить, что трансформаторная ЭДС описывается как реакция звена реального дифференцирования, имеющего передаточную функцию

$$W(p) = \frac{K_f p}{T_f p + 1}. \quad (1)$$

Форма, амплитуда и длительность трансформаторной помехи в основном зависит от  $h$ ,  $K_f$  и  $T_f$ . Если параметр  $h$  можно варьировать, то  $K_f$  и  $T_f$  зависят от характеристик первичного преобразователя, состояния электродов и параметров измеряемой среды (рисунок 4). В работе произведена оценка влияния  $T_f$  на отношение сигнал/шум, что позволяет наилучшим образом выбирать частоту и другие параметры измерительной схемы.

Анализ характеристик проводился с использованием гармонического анализа. Для сигнала изменения тока (рис. 3) разложение в ряд Фурье дает следующий результат:

$$f_s(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{8}{h\omega^2 k^2} \sin\left(\omega k \frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\omega k \left(\frac{\pi-h}{2} - b\right)\right) \sin\left(\omega k \frac{h}{2}\right) \sin(\omega k t)$$

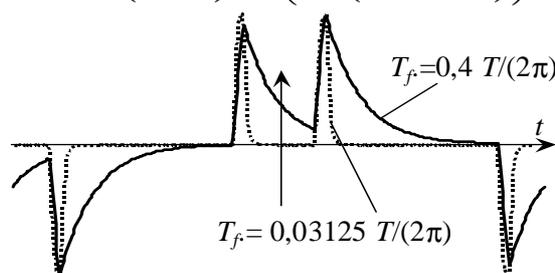


Рисунок 4 – Формы трансформаторной ЭДС

С учетом (1) временная зависимость сигнала трансформаторной ЭДС будет иметь вид

$$f_N(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{8}{h\omega^2 k^2} \sin\left(\omega k \frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\omega k \left(\frac{\pi-h}{2} - b\right)\right) \times \\ \times \sin\left(\omega k \frac{h}{2}\right) \sin\left(\omega kt + \arctg \frac{1}{T_f \omega k}\right) \frac{\omega k K_f}{\sqrt{1 + (T_f \omega k)^2}}.$$

Опорный сигнал описывается выражением:

$$f_R(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4}{\pi \omega k} \left( \sin\left(\omega k \frac{\pi}{2}\right) \right)^2 \sin(\omega kt)$$

В измерительной схеме с помощью опорного сигнала происходит выделение полезной составляющей. Мощность сигнала на выходе схемы синхронного детектирования [3] соответствует интегрированию квадрата среднего значения временной функции за ее период с умножением на  $-1$  при отрицательном опорном сигнале (для идеального фильтра низких частот на выходе синхронного детектора). Исходя из теоремы Парсеваля

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 d\omega,$$

мощность сигнала можно определить как сумму квадратов амплитуд нулевых гармоник после перемножения  $f_R(t)$  на  $f_S(t)$  или  $f_N(t)$ .

При увеличении параметра паузы  $b$  мощность сигнала и помехи уменьшаются по различным зависимостям, что обуславливает наличие максимума в отношении мощности полезного сигнала  $PS$  к мощности помехи  $PN$ . Анализ зависимостей (рисунки 4–9) показывает, что на положение максимума существенно влияет значение скорости нарастания тока и  $T_f$ , где  $1 - h = T/8$ ;  $2 - h = T/12,5$ ;  $3 - h = T/25$ ;  $4 - h = T/50$ ;  $5 - h = T/100$ ;  $6 - h = T/10000000$ . Увеличение  $h$  способствует увеличению отношения сигнал/шум, однако существуют физические ограничения на повышение  $h$ , обусловленные особенностями процесса измерения в электромагнитных расходомерах и электродными процессами. Оптимальное (максимальное) значение характеристик  $SNR(b)$  подвержено влиянию как  $T_f$ , так и  $h$ . При  $T_f > 0,125T/(2\pi)$  на положение максимума практически перестает влиять  $h$ , что определяет критерий выбора максимальной рабочей частоты измерительного преобразователя. Градиент приращения величины максимума позволяет рекомендовать усложненные схемы только при реализации соотношения  $h > T/25$ .

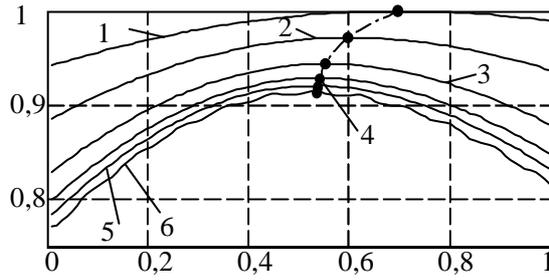


Рисунок 5 – Нормализованная зависимость отношения сигнал/шум для различных  $b/b_{max}$  при  $T_f = 0,625T/(2\pi)$

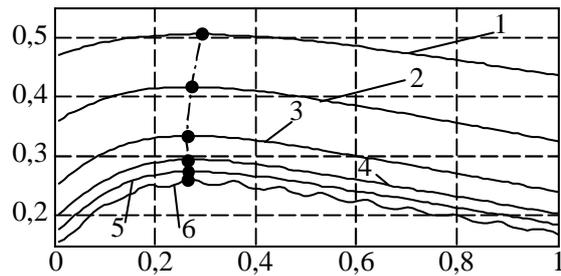


Рисунок 6 – Нормализованная зависимость отношения сигнал/шум для различных  $b/b_{max}$  при  $T_f = 0,125T/(2\pi)$

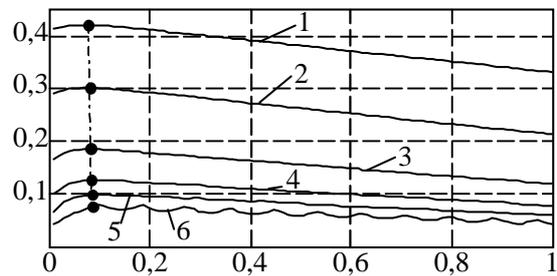


Рисунок 7 – Нормализованная зависимость отношения сигнал/шум для различных  $b/b_{max}$  при  $T_f = 0,03125T/(2\pi)$

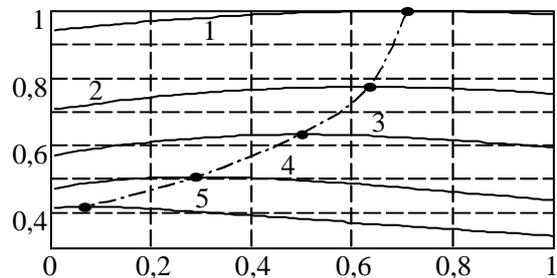


Рисунок 8 – Нормализованная зависимость отношения сигнал/шум для различных  $b/b_{max}$  при  $h = T/8$

## ЛИТЕРАТУРА

1. И.О. Оробей, Д.А. Гринюк, С.Е. Жарский, И.Ф. Кузьмицкий. Измеритель электрокинетического потенциала - Приборы и техника эксперимента, 2005, №3, стр. 1–4.
2. И.О. Оробей, Д.А. Гринюк, С.Е. Жарский, И.Ф. Кузьмицкий. Электромагнитный измеритель микрорасходов – Датчики и системы - № 3, 2005, с. 46-49.
3. Ж. Макс. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. – М: Мир. – 1983. – С.312.

УДК 681.5

Студ. Д.П. Шкудун, В.Ч. Алешкевич  
Науч. рук. доц. Гринюк Д.А.

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ НА ОАО «МЭТЗ ИМ. В. И. КОЗЛОВА»**

Источник информации: ОАО «МЭТЗ им. В. И. Козлова». Цель процесса – получение заданного температурного режима в помещении зарядной (оптимальный ( $T=19 - 21^{\circ}\text{C}$ ) и допустимый ( $T=17 - 23^{\circ}\text{C}$ )).

Участок помещения зарядной состоит из приточной и вытяжной вентиляции, противопожарной заслонки на притоке, чувствительного элемента газоанализатора, зарядных устройств и аккумуляторов и датчика температуры помещения.

На участке венткамеры, установлена приточная система отопления, в которую входит приточная заслонка, фильтр, водяной калорифер, вентилятор, частотный преобразователь, циркуляционный насос, регулирующий клапан, датчик температуры обратного теплоносителя, датчик температуры приточного воздуха, два реле перепада давления на вентилятор и фильтр и термостат защиты от замерзания теплоносителя.

При пуске отопительной системы, открывается приточная заслонка и регулирующий клапан, запускается циркуляционный насос. Запускается режим прогрева калорифера, если температура обратного теплоносителя ниже  $50^{\circ}\text{C}$ . Далее запускается вентилятор. Регулирование температуры воздуха в приточном канале осуществляется посредством управления расходом теплоносителя на регулирующем клапане.

Для поддержания в помещениях нормальных условий воздушной среды, соответствующих санитарно-гигиеническим и технологическим требованиям - устраивают вентиляцию, которая создает организован-

ный воздухообмен - удаляет загрязненный воздух и подает вместо него обработанный (нагретый или охлажденный увлажненный или осушенный) свежий и чистый воздух. Массы удаляемого воздуха и воздуха, подаваемого либо проникаемого в помещение через неплотности строительных конструкций, всегда равны.

Вентиляционная система - это совокупность устройств для обработки, подачи или удаления воздуха; она является также средством для создания воздухообмена в помещении. В данном проекте применяется приточная система вентиляции, осуществляющая подачу свежего, нагретого воздуха в помещение.

В состав технологического оборудования входят: воздушная заслонка; фильтр воздушный; калорифер; приточный вентилятор; воздуховод.

Заслонки воздушные круглого и прямоугольного сечения с автоматическим, дистанционным управлением (дроссель - клапаны) используются как для регулирования, так и для отключения участков сети воздуховодов. Воздух, используемый для приточных вентиляционных систем, забирается, как правило, в наименее запыленных местах, но и в этом случае в нем содержится достаточно большое количество пыли и других механических примесей. Прежде чем подавать такой воздух в цех, его необходимо очистить. Воздух вытяжных вентиляционных систем перед выбросом в атмосферу в ряде случаев должен быть очищен как с целью охраны окружающей среды, так и для улавливания ценных отходов производства.

Для очистки приточного и рециркуляционного воздуха применяют воздушные фильтры. Для очистки воздуха, выбрасываемого вытяжными вентиляционными системами, используют пылеуловители.

Для нагревания воздуха в приточных вентиляционных установках, системах воздушного отопления, сушильных установках, установках кондиционирования воздуха применяют специальное оборудование - калориферы (воздухонагреватели). В качестве теплоносителя для калориферов используют высокотемпературную воду или пар. Расположение трубок с теплоносителем может быть коридорное, шахматное и коридорно-смещенное (наиболее эффективное). Сами трубки могут быть как круглого, так и плоско - овального сечения. Соединение теплообменных ребренных трубок в ряду и рядов между собой выполнено последовательно по одной трубке в ходу в одну ветвь, причем смежные теплообменные трубки в ряду соединены между собой последовательно межтрубными переходами в форме крутозагнутых отводов и снабжены легкоъемными ремонтно-защитными пробками. В калорифере воздух для нагрева подается перпендикулярно плоскости, в ко-

торой проходят теплообменные трубки, теплоноситель протекает параллельно по всем трубкам в каждом ходу, обеспечивая перекрестное взаимодействие теплоносителей.

Система автоматического управления процесса состоит из следующих контуров регулирования: для стабилизации температуры воздуха производственного помещения установлен датчик температуры TG-АН/РТ1000, сигнал с которого поступает на модуль аналогового ввода контроллера REGIN E151DW-3 1AI. С контроллера (модуля аналогового вывода REGIN E151DW-3 1AO) сигнал поступает на регулирующий клапан, который регулирует расход теплоносителя. Для изменения расхода теплоносителя используются процессор и высокоскоростные коммуникационные средства на базе RS-485 или Ethernet.

В процессе управления отопительной системы в качестве регулирующих органов применяют клапаны. Эти устройства по принципу действия являются переменными гидравлическими сопротивлениями, регулирующими расход вещества путем дросселирования, т. е. изменения проходного сечения регулирующего органа. Регулирующий орган состоит из двух основных частей: неподвижного корпуса и перемещаемого относительно него затвора. Пропускная способность органа зависит от положения затвора в корпусе.

В качестве регулирующего органа в данной системе выступает регулирующий двухходовой клапан типа SRQ2d 3/4. Расходная характеристика клапана линейная при диаметре проходного сечения равном 25 мм. Передаточная функция исполнительного механизма описывается следующим образом:

$$W_{ум}(p) = \frac{K_{ум}}{T_u p + 1}, \quad (1)$$

где  $T_u$  – механическая постоянная времени электрического исполнительного механизма, 40 с;  $K_{ум}$  – коэффициент усиления исполнительного механизма, который находится.

Передаточная функция термометра сопротивления TG-АН/РТ1000 -30...120°C определяется по формуле:

$$W_{дт}(p) = \frac{K}{T_p + 1}, \quad (2)$$

где коэффициент  $K = 1$ .

В качестве регулятора выбран ПИ-регулятор. Так же на систему наложено ограничение в виде насыщения сигнала управления, из-за невозможности открыться клапану больше максимального сечения.

Математическая модель системы или процесса отражает в той или иной мере свойства реальной системы, в том числе ограничения,

существующие в реальных условиях. Математическая модель составляется (разрабатывается) в математических терминах (на математическом языке) и имеет, как правило, количественное описание.

Каждая исследуемая система имеет  $m$  входных величин и  $n$  выходных величин. Между входными и выходными величинами существуют внутренние динамические связи, вид которых определяется соответствующими динамическими характеристиками.

На производственном помещении для поддержания температуры в заданных режимах подается тепловой поток, который формируется от калорифера, через изменение расхода теплоносителя.

Процессы тепломассопереноса, протекающие в теплообменном аппарате, описываются системой нелинейных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \Delta G_{\text{в}} \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} (T_{\text{в}0} - T_{\text{в.вх}0}) + (G_{\text{в}0} \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} + \alpha_{\text{в}} F_{\text{вн}}) \Delta T_{\text{в}} - G_{\text{в}0} \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} \Delta T_{\text{в.вх}0} + M_{\text{в}} c_{\text{в}} \frac{dT_{\text{в}}}{dt} - \\ - \alpha_{\text{в}} F_{\text{вн}} \Delta T_{\text{тр}} = 0, \\ M_{\text{тр}} c_{\text{тр}} \frac{dT_{\text{тр}}}{dt} - \alpha_{\text{в}} F_{\text{вн}} \Delta T_{\text{в}} + (\alpha_{\text{в}} F_{\text{вн}} + \alpha_{\text{возд}} F_{\text{нар}}) \Delta T_{\text{тр}} - \alpha_{\text{возд}} F_{\text{нар}} \Delta T_{\text{возд}} = 0, \\ (G_{\text{возд}} \rho_{\text{возд}} c_{\text{возд}} + \alpha_{\text{возд}} F_{\text{нар}}) \Delta T_{\text{возд}} - G_{\text{возд}} \rho_{\text{возд}} c_{\text{возд}} \Delta T_{\text{возд.вх}} - \alpha_{\text{возд}} F_{\text{нар}} \Delta T_{\text{тр}} = 0. \end{aligned} \right\} (3)$$

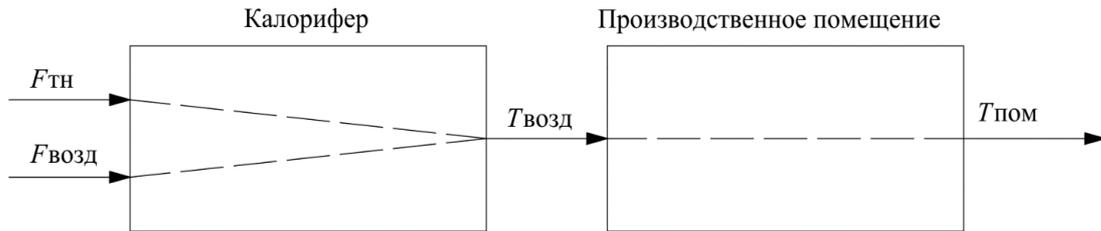


Рисунок 1 – Структурная схема каналов управления объекта

где  $G_{\text{возд}}$  – объемный расход воздуха  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $G_{\text{в}}$  – объемный расход воды  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $G_{\text{в}0}$  – начальный объемный расход воды  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{возд}}$  – плотность воздуха  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c_{\text{возд}}$  – теплоемкость воздуха  $\text{Дж}/(\text{кг К})$ ;  $c_{\text{в}}$  – теплоемкость воды  $\text{Дж}/(\text{кг К})$ ;  $c_{\text{тр}}$  – теплоемкость трубки теплообменника  $\text{Дж}/(\text{кг К})$ ;  $\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубки теплообменника  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$ ;  $\alpha_{\text{возд}}$  – коэффициент теплоотдачи от стенки трубки к воздуху  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$ ;  $F_{\text{вн}}$  – внутренняя площадь теплообмена  $\text{м}^2$ ;  $F_{\text{нар}}$  – наружная площадь теплообмена  $\text{м}^2$ ;  $M_{\text{в}}$  – масса воды в теплообменнике  $\text{кг}$ ;  $M_{\text{тр}}$  – масса трубки в теплообменнике  $\text{кг}$ ;  $\Delta T_{\text{возд}}$  – приращение температуры воздуха на выходе теплообменника  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T_{\text{возд.вх}}$  – приращение температуры воздуха на входе теплообменника  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T_{\text{тр}}$  – приращение температуры трубки теплообменника  $\text{кг}$ ;  $\Delta T_{\text{в}}$  – приращение температуры воды на выходе теплообменника  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T_{\text{в.вх}}$  – приращение температуры воды на входе теплообменника  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{в}0}$  – начальная температу-

ры воды на выходе теплообменника °С;  $\Delta T_{в,вх0}$  – начальная температура воды на входе теплообменника °С.

Передаточная функция калорифера:

$$W_1(p) = \frac{T_{возд}}{G_g} = \frac{-a_2}{a_0 p^2 + a_1 p + 1}, \quad \text{или} \quad W_1(p) = \frac{6.139}{24.99 p^2 + 22.43 p + 1}$$

Передаточная функция помещения:

$$W_2(p) = \frac{T_{ном}}{T_{прит}} = \frac{a_1}{a_0 p + 1}, \quad \text{или} \quad W_2(p) = \frac{0.6467}{2593 p + 1}$$

УДК 621.314

Студ. Д. И. Гулюк, А. В. Максимова

Науч. рук. доцент Н. П. Коровкина

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАМЕНЫ УСТАРЕВШЕГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ**

Проблема экономии электрической энергии встала едва ли не одновременно с появлением самого вида этой энергии. Первоначально кажущаяся дешевизна электрической энергии казалась панацеей от уничтожения природных ресурсов земли, служащей до этого основным источником энергии. Впоследствии человечество вплотную соприкоснулось с обратной стороной медали. С ростом промышленных предприятий возрастают и объемы электрической энергии, необходимой для обеспечения нормального их функционирования. Чрезмерный расход электроэнергии оказывает влияние на себестоимость производимой продукции, что в итоге ведет к повышению цены на нее, что является невыгодным для предприятия. Мировые запасы топлива с каждым годом становятся все меньше, и они не пополняются, тогда как спрос на энергию постоянно находится в состоянии стремительного роста. Поэтому мероприятия по экономии электроэнергии являются чрезвычайно актуальными для любого предприятия.

В нашей стране на протяжении многих лет последовательно проводится государственная политика в области энергосбережения. Рассмотрим некоторые мероприятия по сбережению электроэнергии на промышленных предприятиях лекарственных препаратов.

Расчет эффективности при модернизации термического отделения УСХА с заменой существующих печей на вакуумные. Обоснование экономической эффективности мероприятия произведем по расче-

ту экономии электроэнергии и срока окупаемости. Модернизация цеха термического отделения произведена с заменой существующих печей (3шт) мощностью 25кВт на энергоэффективные вакуумные печи мощностью 16,5 кВт.

Расход энергии  $W1$  при использовании установленных печей:

$$W1 = P_{ном} \cdot n \cdot t,$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность установленных печей, кВт;  $n$  – количество печей, шт;  $t$  – время работы печей в год, час.

$$W1 = 25 \cdot 8 \cdot 252 \cdot 3 = 151200 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Расход электроэнергии при использовании энергоэффективных вакуумных печей:

$$W2 = 16,5 \cdot 8 \cdot 252 \cdot 3 = 100800 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Годовая экономия электроэнергии  $\Delta W$  составит:

$$\Delta W = 151200 - 100800 = 50400 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Стоимость сэкономленной энергии  $S_w$ , руб.

$$S_w = \Delta W \cdot S_{эл} = 50400 \cdot 0,23975 = 12083 \text{ руб.}$$

Стоимость 1кВт/час электроэнергии согласно тарифу, установленному РУП «Минскэнерго» филиалом «Энергосбыт» составляет 0,23975 руб/кВт·час для предприятий.

Стоимость устанавливаемого оборудования:  $S_{об} = 88206$  руб.

Срок окупаемости:  $C_o = S_{об} / S_w = 7,3$  года.

Расчет эффективности при внедрении частотно-регулируемого электропривода переменного тока (ЧРП) для вентилятора охлаждения оборотной воды на гардине. Применение частотно-регулируемого электропривода для вентилятора охлаждения оборотной воды на гардине позволит регулировать подачу охлаждаемого воздуха в зависимости от температуры оборотной воды и температуры наружного воздуха. Так как наружная температура воздуха в ночные часы ниже дневной, появляется необходимость уменьшения производительности вентилятора до 50% от номинальной.

Изменение основных параметров работы вентилятора при изменении скорости вращения рабочего колеса («формулы подобия») определяются соотношениями:

$$P1/P2 = n1^3/n2^3,$$

$$H1/H2 = n1/n2,$$

$$Q1/Q2 = n1/n2,$$

где  $n$  – число оборотов вала рабочего колеса в мин;  $P$  – мощность, потребляемая вентилятором, кВт;  $H$  – напор, создаваемый вентилятором, м;  $Q$  – производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/с.

Исходные данные для расчета: подача насоса – 138,88 м<sup>3</sup>/ч; давление – 150 Па; мощность двигателя – 30 кВт.

Потребление мощности при частотном регулировании можно записать выражением:

$$P_{чр} = P_{max} \cdot (Q / Q_{max}) = 30 \cdot (69,44 / 138,88) = 30 \cdot 0,5 = 15 \text{ кВт}$$

Определяем суммарную экономию электроэнергии за заданный временной интервал работы оборудования (за год) по формуле:

$$W_{эк} = P_{чр} \cdot t \cdot n, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$$

где  $t$  – время работы в сутки, час;  $n$  – количество дней работы.

$$W_{эк} = 15 \cdot 12 \cdot 275 = 49500 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

При тарифе на электроэнергию 0,23975руб/кВт·час стоимость сэкономленной электроэнергии составит:

$$C_{ээ} = 49500 \cdot 0,23975 = 11867,625 \text{ руб}$$

Стоимость ЧРЭП, руб.

$$C_{чр} = 18545 \text{ руб.}$$

Для определения срока окупаемости, а следовательно оценки экономической эффективности применения ЧРП используется формула:  $S_{ок} = C_{чр} / C_{ээ} = 1,7$  года

Расчет эффективности при замене насосов подачи воды в отделении водоподготовки цеха на энергоэффективные. В настоящее время в отделении водоподготовки цеха используются насосы для подачи воды очищенной на нужды производства с электродвигателями мощностью 15 и 18 кВт. Произведем замену существующих насосов на энергоэффективные марки WILLO с электродвигателями мощностью 5 и 7 кВт.

Расход энергии при работе существующих насосов.

$$W_{cy} = P_{ном} \cdot t \cdot n, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность установленных насосов, кВт;  $t$  – время работы насосов в сутки;  $n$  – число дней в году.

$$W_{cy} = 33 \text{ кВт} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 312 \text{ дн} = 247104 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Расход электроэнергии при работе насосов марки WILLO:

$$W_w = 12 \text{ кВт} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 312 \text{ дн} = 89961 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Годовая экономия составит:

$$\Delta W = W_{cy} - W_w = 247104 - 89961 = 157143 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$$

Стоимость сэкономленной электроэнергии за один год:

$$C_{ээ} = 157143 \cdot 0,23975 = 37675,625 \text{ руб.}$$

Стоимость устанавливаемого оборудования:

$$S_{об} = 33908 \text{ руб}$$

Срок окупаемости:  $C_o = S_{об} / C_{ээ} = 0,9$  года

Расчет эффективности модернизации узла нагрева воды, очищенной в цехе с заменой рециркуляционного насоса и теплообменника на энергоэффективные насосы с автоматизацией подачи теплоносителя. В настоящее время при нагреве очищенной воды в термостатической емкости для рециркуляции используется насос марки X80-50-

160Д (подача – 50м<sup>3</sup>/час, напор – 32м) с двигателем мощностью 15 кВт. Предлагаем модернизировать узел нагрева очищенной воды с заменой существующего насоса на энергосберегающий марки WILLO IRL 80 / 115 2,2 / 2 (подача – 50 м<sup>3</sup>/час, напор – 10м) с двигателем мощностью 2,2 кВт. Также нужно заменить теплообменник на энергоэффективный пластинчатый, автоматизировать подачу теплоносителя на теплообменник для поддержания требуемого температурного режима очищенной воды в термостатической емкости.

Расчет производился исходя из 313 рабочих дней в году и круглосуточной эксплуатации узла подготовки очищенной воды (7356 рабочих часов в году). Результаты расчета приведены в таблице.

**Таблица**

№ п/п	Наименование экономического показателя	Ед. изм.	Существующий узел нагрева	Модернизированный узел нагрева
1	Потребление э/энергии за год	кВт·ч руб/кВт·ч	110340	16183 0,23975
2	Тариф на э/энергию		0,23975	
3	Стоимость оборудования	руб		2257
4	Стоимость э/энергии	кВт·ч/руб	26454	3880
5	Экономия э/энергии	кВт·ч/год	-	22574
6	Срок окупаемости	лет	-	0,1

Приведенные выше расчеты показывают, что при выполнении организационно-технических мероприятий на производстве можно значительно сократить потребление электроэнергии при небольшом сроке окупаемости.

УДК 621.314

Студ. М. А. Елисеева, И. Ф. Тумилович  
Науч. рук. доцент Н. П. Коровкина

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### **НЕКОТОРЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСВЕЩЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Освещение является одной из основных статей расхода электрической энергии на промышленных предприятиях. Расход электроэнергии на освещение промышленных предприятий непрерывно растет и составляет в среднем по отраслям промышленности 5 – 30% их общего потребления. Электрическое освещение, наряду с другими устройствами технического оснащения производственных помещений, создает комфортные условия для производственного труда. Поэтому задачу

экономии электроэнергии на осветительных установках следует решать так, чтобы при минимальных затратах электроэнергии путем правильного устройства и эксплуатации осветительных установок обеспечить оптимальную освещенность производственных помещений и рабочих мест и высокое качество освещения, создать обстановку для наиболее производительного труда работающих.

Основными методами энергосбережения на осветительных установках промышленных предприятиях можно считать:

– замену низкоэффективных источников света (ЛН) на высокоэффективные (энергосберегающие) источники – натриевые лампы высокого давления, люминесцентные лампы с ЭПРА, ЭСБ;

– замену эффективных источников света (ДРЛ) на еще более эффективные (ДНаТ);

– оптимальное сочетание общего и местного освещения, естественного и искусственного освещения;

– применение осветительных приборов меньшей мощности там, где это допустимо по условиям работы (лестничные клетки, дежурное освещение у выходов и в коридорах);

– разработку отдельных групп управления световыми приборами для помещений с высокой плотностью осветительной нагрузки.

Рассмотрим некоторые мероприятия по экономии электроэнергии.

Замена ламп накаливания на светодиодные лампы в сигнальных светофорах на троллеях цеха. Лампы накаливания (40 Вт) в количестве 195 штук заменены на светодиодные лампы в том же количестве мощностью 2,5 Вт.

Годовой экономический эффект составит:

$$\Delta W = n \cdot (P_1 - P_2) \cdot t \cdot k_u,$$

где  $n$  – количество ламп, шт;  $P_1$  – мощность лампы накаливания, Вт;  $P_2$  – мощность светодиодных ламп;  $t$  – число часов работы освещения в году;  $k_u$  – коэффициент использования, равный 0,8.

$$\Delta W = 195 \cdot (0,04 - 0,0025) \cdot 8122 \cdot 0,8 = 47000 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$$

При замене ламп накаливания (25Вт) в количестве 429 штук на светодиодные лампы в том же количестве мощностью 2,5 Вт годовой экономический эффект составит:

$$\Delta W = 429 \cdot (0,025 - 0,0025) \cdot 8256 \cdot 0,8 = 63800 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$$

Экономия электрической энергии  $\Delta W$  при замене общего освещения на местное. Экономия электрической энергии  $\Delta W$  при замене

общего освещения (10 светильников с лампами по 400 Вт) на местное (2 светильника с лампами по 80 Вт) составит:

$$\Delta W = W_o - W_M, \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

где  $W_o, W_M$  – расход электроэнергии на общее и местное освещение:

$$W_o = K_{co} \cdot \Sigma P_o \cdot t_{op}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

$$W_M = K_{cm} \cdot \Sigma P_M \cdot t_{oM}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

где  $\Sigma P_o, \Sigma P_M$  – суммарная установленная мощность соответственно ламп общего и местного освещения, необходимого для создания светового потока, соответствующего нужной освещенности, кВт;  $t_{op}$  – число часов использования общего освещения в году, час;

$$t_{op} = 1,02(N - n)t_{cp} - t_{пр},$$

где  $t_{cp}$  – среднее число часов использования осветительных установок общего освещения за сутки, час; 1,02 – коэффициент, учитывающий дополнительное число часов освещения в пасмурные дни;  $N$  – число календарных дней в году;  $n$  – число нерабочих дней в году;  $t_{пр}$  – число часов, на которое сокращена продолжительность работы в предвыходные и праздничные дни в течение года, час.

$$t_{oM} = (N - n)t_{cpM} - t_{пр},$$

где  $t_{cpM}$  – среднее число часов использования осветительных установок местного освещения в сутки, час;  $K_{co}, K_{cm}$  – коэффициенты спроса установок общего и местного освещения соответственно.

$$t_{op} = 1,02(365 - 113)14 - 12 = 3586,6 \text{ час},$$

$$t_{oM} = (365 - 113)14 - 12 = 3516 \text{ час},$$

$$W_o = 0,95 \cdot 4,0 \cdot 3586 = 13628,928 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

$$W_M = 0,9 \cdot 0,16 \cdot 3516 = 506,304 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

$$\Delta W = 13628,928 - 506,304 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 13122 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}.$$

Экономия электроэнергии при раздельном питании систем освещения двух участков цепи. Определим экономию электроэнергии при раздельном питании систем освещения двух участков цеха.

Площади участков одинаковы. Тогда расход электроэнергии на общее освещение двух участков:

$$W_{общ} = k_c P_{уст} t_o,$$

где  $k_c$  – коэффициент спроса;  $P_{уст}$  – установленная мощность систем освещения, кВт;  $t_o$  – число часов работы систем освещения в году, час.

$$W_{общ} = 0,95 \cdot 16 \cdot 5760 = 87552 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

Расход электроэнергии на освещение ремонтной базы:

$$W_{pb} = k_c P_{уст pb} t_{pb} = 0,95 \cdot 8 \cdot 1920 = 15360 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$$

где  $P_{уст pb}$  – установленная мощность системы освещения ремонтной базы, кВт;  $t_{pb}$  – число часов работы системы освещения в году ремонтной базы, час.

Суммарный расход электроэнергии при раздельном питании двух участков цеха:

$$W_{pb} + 0,5W_{общ} = 15360 + 43776 = 58368 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$$

Экономия электроэнергии:

$$\Delta W = W_{общ} - (W_{pb} + 0,5W_{общ}) = 87552 - 58368 = 29184 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$$

Экономия электроэнергии при замене ламп ДРЛ на лампы ДНаТ. Для освещения наружной территории предприятия в темное время суток используют светильники с лампами ДРЛ мощностью 400Вт. Световой поток ламп ДРЛ-400 составляет 20800лм. Срок службы 12000 часов. Эти лампы рационально заменить на лампы ДНаТ-150, световой поток которых 14000 лм. Спад светового потока в течение срока службы лампы не более 15-20%. Средний срок службы более 11000 часов. Экономия электроэнергии при замене ламп:

$$\Delta W = \sum [n \cdot (P_1 - P_2)] \cdot t \cdot 10^3, \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$$

где  $n$  – количество ламп, шт;  $P_1$  – мощность лампы существующего светильника с учетом потерь в ПРА, кВт;  $P_2$  – мощность лампы, предлагаемой для замены с учетом потерь в ПРА, кВт;  $t$  – число часов работы наружного освещения, час.

Экономия электроэнергии составит:

$$\Delta W = \sum [26 \cdot (0.440 - 0.165)] \cdot 3600 \cdot 10^3 = 25740 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$$

Замена ламп накаливания компактными люминесцентными лампами (КЛЛ). Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы вызвана следующими преимуществами ламп КЛЛ перед лампами накаливания: больший срок службы; мгновенное зажигание; незначительный нагрев; не оказывает ослепляющего действия.

Потребление электроэнергии за год  $W_{лн}$  при установке в светильниках ламп накаливания мощностью 500 Вт в мастерских составляет:

$$W_{лн} = n_1 \cdot P_n \cdot t_p \cdot k_{ис}$$

где  $n_1$  – количество светильников, шт.;  $P_n$  – мощность ламп накаливания, кВт;  $t_p$  – число часов работы освещения в году, час;  $k_{ис}$  – коэффициент использования, равный 0,8.

Тогда

$$W_{лн} = 50 \cdot 0,5 \cdot 920 \cdot 0,8 = 18400 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Потребление электроэнергии за год  $W_{KLL}$  при установке в светильниках ламп КЛЛ мощностью 105 Вт:

$$W_{KLL} = 50 \cdot 0.105 \cdot 920 \cdot 0.8 = 3864 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Годовой экономический эффект  $\Delta W$  составит:

$$\Delta W = W_{лн} - W_{KLL} = 18400 - 3864 = 14536 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}.$$

Приведенные выше расчеты показывают, что при выполнении организационно-технических мероприятий на производстве можно значительно сократить потребление электроэнергии на освещение.

УДК 621.314

Студ. Д. И. Чакур, Р. Ч. Алешкевич

Науч. рук. доцент В. П. Кобринец, доцент О.Г. Барашко

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЯ СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННОГО КОТЛА**

Огромная производительность современных технологических агрегатов, сложность физико-химических явлений, протекающих в них, и, как следствие этого сложность управления ими обусловили необходимость разработки и применения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). Разработка АСУТП сопровождается созданием математической модели процесса и алгоритмов управления им с учетом информации, которая получена с помощью измерительных устройств.

Одним из элементов повышения эффективности производства является рациональное управление процессами теплообмена.

В основе работы холодильников лежит холодильный цикл. Простой паровой цикл механической холодильной машины реализуется с помощью четырех элементов, образующих замкнутый холодильный контур, – компрессора, конденсатора, дроссельного вентиля и испарителя или охладителя (рисунок). Пар из испарителя поступает в компрессор и сжимается, вследствие чего его температура повышается. После выхода из компрессора пар, имеющий высокие температуру и давление, поступает в конденсатор, где охлаждается и конденсируется. В некоторых конденсаторах используется режим переохлаждения, т.е. дальнейшее охлаждение сконденсировавшейся жидкости ниже ее температуры кипения. Из конденсатора жидкость проходит через дроссельный вентиль. Поскольку температура кипения (насыщения) для данного давления оказывается ниже температуры жидкости, начинается ее интенсивное кипение; при этом часть жидкости испаряется, а

температура оставшейся части опускается до равновесной температуры насыщения (тепло жидкости расходуется на ее превращение в пар). Процесс дросселирования иногда называют внутренним охлаждением или самоохлаждением, поскольку в этом процессе температура жидкого хладагента снижается до нужного уровня. Таким образом, из дроссельного вентиля выходят насыщенная жидкость и насыщенный пар. Насыщенный пар не может эффективно отводить тепло, поэтому он перепускается мимо испарителя и подается прямо на вход компрессора. Между дросселем и испарителем установлен сепаратор, в котором пар и жидкость разделяются.

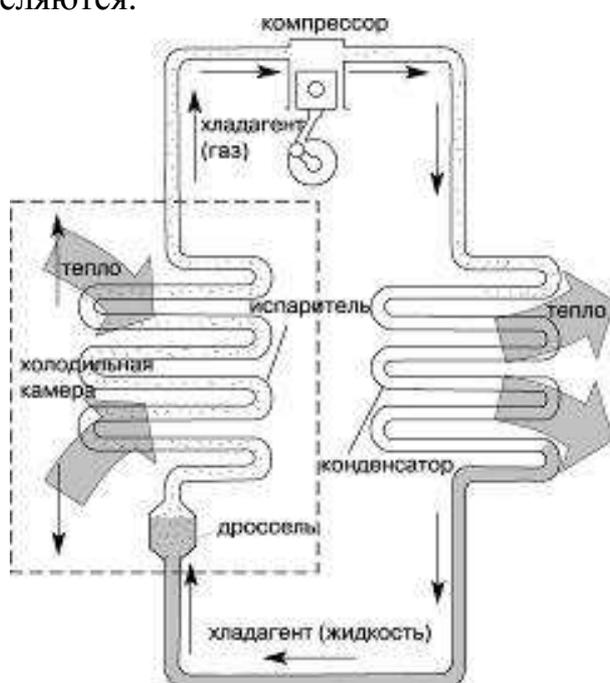


Рисунок – Схема холодильного цикла

Для получения математической модели холодильной камеры, необходимо знать следующие механические характеристики установки, размеры холодильной камеры, расход хладагента (аммиака), его теплота парообразования, расход воздуха через воздухоохладитель и т.д.

Уравнение теплового баланса для воздухоохладителя:

$$G_{возд} c_{возд} (T_{кам} - T_{возд.охл}) = M_{тепл} c_{тепл} \frac{dT_{возд.охл}}{dt} + G_{хл} r (x_1 - x_2) \quad (1)$$

где  $G_{возд}$  – массовый расход воздуха кг/с;  $c_{возд}$  – теплоемкость воздуха кДж/(кг К);  $T_{кам}$  – температура в холодильной камеры °С;  $T_{возд.охл}$  – температура охлажденного воздуха °С;  $M_{тепл}$  – масса теплообменника кг;  $c_{тепл}$  – теплоемкость теплообменника кДж/(кг К);  $G_{хл}$  – расход жидкого хладагента кг/с;  $r$  – теплота парообразования кДж/кг;  $x_1, x_2$  – коэффициенты сухости паров хладагента.

Из уравнения теплового баланса (1) произведём расчет передаточной функцию воздухоохладителя:

$$G_{возд} c_{возд} (T_{возд.охл} - T_{кам}) + M_{тепл} c_{тепл} \frac{dT_{возд.охл}}{dt} + G_{хл} r(x_1 - x_2) = 0. \quad (2)$$

Ведём малые приращения температур  $\Delta T_{возд.охл}$  и  $\Delta T_{кам}$ , а также считаем что  $G_{возд}$  расход воздуха постоянным и произведем замену  $p = d/dt$ :

$$(G_{возд} c_{возд} + M_{тепл} c_{тепл} p) \Delta T_{возд.охл} - G_{возд} c_{возд} \Delta T_{кам} + G_{хл} r(x_1 - x_2) = 0. \quad (3)$$

Применим принцип суперпозиции и подставим в (3)  $\Delta T_{кам} = 0$ :

$$(G_{возд} c_{возд} + M_{тепл} c_{тепл} p) \Delta T_{возд.охл} - G_{возд} c_{возд} \Delta T_{кам} + G_{хл} r(x_1 - x_2) = 0. \quad (4)$$

Из уравнения (4), запишем передаточную функцию по каналу управления расхода хладагента  $G_{хл}$ :

$$W_1(p) = \frac{T_{возд.охл}}{G_{хл}} = \frac{-k_1}{a_1 p + 1}, \quad (5)$$

где

$$k_1 = \frac{r(x_1 - x_2)}{G_{возд} c_{возд}}; \quad a_1 = \frac{M_{тепл} c_{тепл}}{G_{возд} c_{возд}}.$$

Уравнение теплового баланса для холодильной камеры:

$$K_{ст} F_{ст} (T_{внеш} - T_{кам}) = G_{возд} c_{возд} (T_{кам} - T_{возд.охл}) + (M_{возд} c_{возд} + M_{пр} c_{пр}) \frac{dT_{кам}}{dt}, \quad (6)$$

где  $G_{возд}$  – массовый расход воздуха кг/с;  $c_{возд}$  – теплоемкость воздуха кДж/(кг К);  $T_{кам}$  – температура в холодильной камеры °С;  $T_{внеш}$  – температура внешней среды °С;  $T_{возд.охл}$  – температура охлажденного воздуха °С;  $M_{возд}$ ,  $M_{пр}$  – масса воздуха и продуктов кг;  $c_{возд}$ ,  $c_{пр}$  – теплоемкость воздуха и продуктов кДж/(кг К);  $K_{ст}$  – коэффициент теплопередачи Вт/(м<sup>2</sup> К);  $F_{ст}$  – площадь стенки м<sup>2</sup>.

Из уравнения теплового баланса (6) произведём расчет передаточной функцию холодильной камеры:

$$K_{ст} F_{ст} (T_{кам} - T_{внеш}) + G_{возд} c_{возд} (T_{кам} - T_{возд.охл}) + (M_{возд} c_{возд} + M_{пр} c_{пр}) \frac{dT_{кам}}{dt} = 0. \quad (7)$$

Ведём малые приращения температур  $\Delta T_{возд.охл}$ ,  $\Delta T_{кам}$  и  $\Delta T_{внеш}$ , а также считаем что  $G_{возд}$  расход воздуха постоянным и произведем замену  $p = d/dt$ :

$$(G_{возд} c_{возд} + K_{ст} F_{ст} + (M_{возд} c_{возд} + M_{пр} c_{пр}) p) \Delta T_{кам} - G_{возд} c_{возд} \Delta T_{возд.охл} - K_{ст} F_{ст} \Delta T_{внеш} = 0. \quad (8)$$

Далее применим принцип суперпозиции и подставим в (8)  $\Delta T_{внеш} = 0$ , и получим передаточную функцию холодильной камеры по

каналу температуры охлажденного воздуха  $T_{\text{возд.охл}}$ :

$$W_2(p) = \frac{T_{\text{кам}}}{T_{\text{возд.охл}}} = \frac{-k_2}{a_2 p + 1}, \quad (9)$$

где

$$k_2 = \frac{G_{\text{возд}} c_{\text{возд}}}{G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} + K_{\text{ст}} F_{\text{ст}}}; \quad a_2 = \frac{M_{\text{возд}} c_{\text{возд}} + M_{\text{пр}} c_{\text{пр}}}{G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} + K_{\text{ст}} F_{\text{ст}}}.$$

# СОДЕРЖАНИЕ

## Секция

### ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

1.	<i>Пашинская Ю.В., Соловьёва И.А.</i> Определение уровня загрязнения воздушной среды микроорганизмами.....	5
2.	<i>Боркина Я.В., Липницкий П.А.</i> Разработка канифольной клеевой композиции для проклейки бумаги.....	8
3.	<i>Боровой А.Г., Шелков Н.А.</i> Современные способы получения газетной бумаги и ее мелования.....	12
4.	<i>Дашкевич С.А.</i> Получение материалов со свойствами стимуляторов роста на основе лигносодержащих продуктов и применение их при выращивании сеянцев древесных пород (обзор).....	16
5.	<i>Липницкий П.А., Боркина Я.В.</i> Разработка состава клеевой канифольной эмульсии для гидрофобизации бумаги и картона в нейтральной среде.....	22
6.	<i>Чуешкова В.П., Телюк В.Г.</i> Применение льняной костры в производстве плитных материалов.....	26
7.	<i>Воронько В.Г.</i> Антибактериальные компоненты в составе жидкого мыла.....	29
8.	<i>Вишняк А.А.</i> Исследование влияния вида жира на потребительские свойства косметической эмульсии.....	32
9.	<i>Е.М. Марзалюк</i> Исследование влияния вида эфирного масла на свойства косметической эмульсии.....	34
10.	<i>Пашковский П.В.</i> Анализ процессов сульфитной и сульфатной варки целлюлозы хвойных и лиственных пород древесины.....	37
11.	<i>Залуцкая А.М.</i> Оценка степени кристалличности различных видов сырья, используемых для получения микрокристаллической целлюлозы.....	40
12.	<i>Таганова Л.Б.</i> Характеристика нитчатых бактерий, выделенных из биоценоза активного ила очистной станции.....	43
13.	<i>Севко Д.В., Адамцевич Н.Ю.</i> Подбор условий экстракции фисетина.....	46
14.	<i>Ахмадиева Ю.И.</i> Влияние фитопланктона на качество природной воды из поверхностного источника.....	49
15.	<i>Гуринович Д.А., Сороговец В.В.</i> Биологическое удаление из сточных вод соединений азота и фосфора в условиях систематического поступления нефтепродуктов.....	52
16.	<i>Лиходиевский А.В.</i> Оценка влияния различных факторов на превращения соединений азота при биологической очистке сточных вод птицефабрики.....	55
17.	<i>Лукашевич С.О., Лапян Е.В.</i> Аллелопатические взаимодействия <i>Lactuca Sativa</i> с отдельными видами растений в водной культуре.....	58
18.	<i>Ефимович В.М.</i> Современные тенденции в производстве желатиновых капсул.....	61

19.	<i>Салов Е.С.</i> Подходы к оценке антимикробных свойств фотокаталитических покрытий на основе Sn-Ni-TiO <sub>2</sub> .....	64
20.	<i>Смусь Е.Ю.</i> Влияние компонентного состава удобрительной композиции на фосфатмобилизирующие свойства почвенных бактерий.....	67
21.	<i>Леонович З.О.</i> Использование растительного сырья для разработки квасов брожения.....	70
22.	<i>Шлыкова Я.В.</i> Изучение антиоксидантной активности лекарственного растительного сырья при исследовании процесса аутоокисления адреналина.....	73
23.	<i>Бесараб А.Ю.</i> Подбор методики и очистки экстрактов лекарственных растений от хлорофилла.....	76
24.	<i>Боборикина А.В., Пархомчук А.В., Казбекова А.Н.</i> Перспективы разработки нового фиточая на основе местного растительного сырья .....	79
25.	<i>Коханская М.В., Бушкевич Н.В.</i> Изучение свойств системы «вода-анионный ПАВ-настойка плодов / листьев голубики высокорослой».....	82
26.	<i>Наврость А.Н., Трапезникова В.М.</i> Анализ молочнокислых бактерий, выделенных из молочной продукции разных стран, и их устойчивости к фаговой инфекции.....	85
27.	<i>Николенко Д.В., Калинец А.С.</i> Оценка антимикробных свойств халконов по отношению к пленкообразующим микроорганизмам.....	87
28.	<i>Шевчик Я.А., Савельев А.И.</i> Оценка антибактериальной активности тетрагидрокарбозолонов, модифицированных по положению 9.....	91
29.	<i>Голуб К.Ю., Граник А.М.</i> Получение смешанных культур, пригодных для создания биоудобрений.....	94
30.	<i>Страх Я.Л.</i> Биодegradация пестицидов. Поиск эффективных бактерий-деструкторов.....	97
31.	<i>Авсейко М.В., Одинцова В.С.</i> Химическое обезвреживание фармацевтических отходов группы диуретиков.....	100
32.	<i>Бутарева Д.А., Дивина Ю.С.</i> Пробоподготовка осадков сточных вод и биотестирование их токсичности.....	103
33.	<i>Железовская А.А., Панасюк И.В.</i> Криоконцентрирование и обеззараживание молочной сыворотки.....	105
34.	<i>Ковалёва К.И.</i> Влияние мелатонина на биологическую активность микроорганизмов.....	107
35.	<i>Козлова А.М.</i> Экспресс-анализ биологической активности пробиотиков.....	108
36.	<i>Панасюк И.В., Железовская А.А.</i> Выделение сывороточных белков из молочной сыворотки методом криогенной обработки.....	109
37.	<i>Радчук И.Г.</i> Микрометрический экспресс-метод определения степени измельчения шоколадных масс.....	110
38.	<i>Свибович А.А.</i> Анализ свойств микроорганизмов возбудителей кариеса и влияние на них антимикробных веществ.....	111
39.	<i>Шабалик Е.В.</i> Оптико-редуктазный экспресс-метод определения ингибирующих веществ.....	112

40.	<i>Раевский А.Ю.</i> Применение нановолокон, полученных методом электроформования, в химической технологии.....	113
41.	<i>Ушева О.А., Жданова Е.И., Жолнеркевич В.И.</i> Способ улучшения качества рафинатов селективной очистки масляных фракций нефти...	117
42.	<i>Хаппи Вако Б.Ж., Степанович Ю.А.</i> Влияние способа введения низкомолекулярного полиэтилена на свойства получаемых битумов.....	120
43.	<i>Степанович Ю.А.</i> Получение окисленных битумов с улучшенной погодоустойчивостью.....	122
44.	<i>Осипёнок Е.М.</i> Синтез 2-гептадецил-2-имидазолина и изучение его поверхностной активности в водных растворах.....	125
45.	<i>Близнецов Г.Д., Горошко М.А., Станько М.В.</i> Получение вяжущего совместным окислением нефтяного гудрона с добавкой пентаэритрита.....	129
46.	<i>Савельев А.И., Пережогина А.Л.</i> Методы синтеза и биологическая активность функционализированных тетрагидрокарбазолов.....	132
47.	<i>Ахламёнок Т.П.</i> Синтез производных бензимидазола на основе О-фенилендиамина и ароматических альдегидов.....	135
48.	<i>Савельев А.И., Прудников Н.А., Пацев А.А.</i> Синтез окисгенированных N-замещенных тетрагидрокарбазолов.....	138
49.	<i>Черепко Д.Н.</i> Синтез и химическая модификация резола.....	141
50.	<i>Запольская Е.С., Кокаш К.С.</i> Синтез и химическая модификация карбамидоформальдегидных олигомеров.....	144
51.	<i>Маслицкая О.С.</i> Синтез и применение немодифицированных олигоэфиров.....	147
52.	<i>Соболь А.С., Черник Е.А.</i> Синтез и химическая модификация сложных ненасыщенных модифицированных полиэфиров.....	149
53.	<i>Карпицкая А.В., Коваль И.А.</i> Мониторинг содержания солей хлористого калия и хлористого натрия в пресных водах Светлогорского района.....	153
54.	<i>Бобровская А.В.</i> Определение содержания солей тяжёлых металлов в сточных и очищенных водах производства Минского тракторного завода.....	156
55.	<i>Кокаш К.С., Черепко Д.Н.</i> Поликонденсация – основополагающий метод синтеза полимеров.....	159
56.	<i>Эсауленко Д.В.</i> Химическая модификация насыщенных модифицированных олигоэфиров на стадии синтеза.....	162
57.	<i>Черепко Д.Н., Волощик Н.А., Духович Ю.В.</i> Эмульсионная полимеризация акриловых мономеров.....	165
58.	<i>Каленик Т.С., Ковалевский А.С.</i> Исследование влияния нефтеполимерных смол на стойкость резин к тепловому старению...	168
59.	<i>Гавлик А.М., Петрушко П.С.</i> Исследование свойств эластомерных композиций с наноструктурированными углеродными материалами...	171
60.	<i>Прокопович Я.М.</i> Эластомерные композиции на основе полярного каучука с коррундовыми микросферами.....	175
61.	<i>Супруненко А.Н., Романович А.В.</i> Разработка системы пеногасителей для водно-дисперсионных лакокрасочных материалов.....	178

62.	<i>Ксензова А.Н., Макаренко Д.А., Пеховская Е.П.</i> Свойства полиолефинов и их применение для изготовления изделий.....	181
63.	<i>Котов Н.В., Гузь А.Ю., Семенов А.О., Булгаков А.С.</i> Решения в формате Индустрия 4.0 применительно к производству полипропилена на АО «ЗАБСИБНЕФТЕХИМ».....	184
64.	<i>Соловьёва Д.С., Мальцев М.Н., Казьмин В.А., Барсукова В.Ю.</i> Цифровизация процесса управления и технического обслуживания производства полипропилена на АО «ЗАБСИБНЕФТЕХИМ».....	187
65.	<i>Сущенко В.С., Мальцев М.Н.</i> Усовершенствование технологических процессов производств мономеров и полипропилена на АО «ЗАПСИБНЕФТЕХИМ».....	190
66.	<i>Королева Е.В., Игнатова К.С., Сетракова А.Э., Ишунькина Ю.А.</i> Технологические решения в производствах олефинов и полипропилена на АО «ЗАПСИБНЕФТЕХИМ».....	193
67.	<i>Моргачева Е.А., Никифорова А.Д.</i> Модернизация технологического процесса получения полипропилена с помощью цифровых технологий.....	196
68.	<i>Боголепова О.В., Ильин В.И.</i> Применение эргатической системы управления для повышения безопасности химических производств...	199
69.	<i>Биловус В.В., Киргизова К.В.</i> Применение цифровых технологий в процессах синтеза полиолефинов.....	202
70.	<i>Чвирова А.А., Зимина А.Е., Кулигина М.А.</i> Влияние высших карбоновых кислот на вулканизированные характеристики эластомеров.....	205
71.	<i>Сосницкая А.С., Свечникова В.А.</i> Исследование реологических свойств композиций ПВХ, содержащих растительные масла.....	207
72.	<i>Ушакова В.И., Кудревич Б.Ф.</i> Влияние условий облучения на структуру и свойства вулканизаторов бутилкаучука.....	209
73.	<i>Линцова Е.В.</i> Влияние типа модификатора на адгезионные свойства бреккерных резин.....	210
74.	<i>Девушкина А.А.</i> Применение сорбента на основе термообработанной рисовой шелухи для очистки питьевой воды.....	212
75.	<i>Шищенко А.М., Булгаков А.С.</i> Технология получения и изучение свойств алкилфлавоноидов.....	213
76.	<i>Воронцов И.Н., Несмеянова А.Р., Гадомская Т.А.</i> Технология получения и изучение свойств сахарных колеров.....	216
77.	<i>Щеглова А.С., Тёлушкина А.В., Кондратьев Д.В.</i> Исследование влияния режима вулканизации на свойства набухающих эластомерных композиций.....	218
78.	<i>Старченко А.Ю., Максименко А.В., Грезев С.В.</i> Изучение свойств смесевых экстрактов БАВ.....	221
79.	<i>Игнатова К.С.</i> Опты применения моноглицеридов в технологии косметических средств.....	224
80.	<i>Трубицына В.К.</i> Экстракты антоцианов как комплексная добавка в молочной промышленности.....	227
81.	<i>Журавлева А.Г.</i> Выделение пигментов каркадэ полярными растворителями.....	230

82.	<i>Соловьева Д.С.</i> Закономерности экстрагирования пигментов темных сортов винограда.....	233
83.	<i>Булатецкая Т.М.</i> Особенности поведения фосфорнокислых солей в технологии выделения эмульсионного каучука из латекса.....	235
84.	<i>Суворов Е.В.</i> Флуориметрическое определение рибофлавина в лекарственных средствах.....	237
85.	<i>Евсович Е.Ф.</i> Особенности компонентного состава эфирного масла <i>Mentha X Piperita L.</i> .....	241
86.	<i>Печенова Г.Г., Саскевич В.В.</i> Исследование микроструктуры и электрических свойств сегнетомагнетиков на основе феррита висмута $\text{BiFeO}_3$ , синтезированных путем взаимодействия твердых растворов $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ с оксидом висмута $\text{Bi}_2\text{O}_3$ .....	244
87.	<i>Осипенко М.А., Харитонов Д.С., Макарова И.В.</i> Исследование влияния катионов переходных металлов на коррозионную стойкость сплава алюминия АД31.....	247
88.	<i>Потихонин Д.Е., Касач А.А.</i> Получение электрохимических композиционных покрытий $\text{Cu-Sn-TiO}_2$ в условиях ультразвуковой кавитации.....	250
89.	<i>Кручик В.И.</i> Спектральная идентификация соединений ряда 1-(2,4-динитрофенил)-3-(4-алкосифенил)-пиразол-5-онов и промежуточных продуктов их синтеза.....	253
90.	<i>Закржевская Е.И., Старовойтова Д.А.</i> Инверсионно-вольтамперометрическое определение ионов тяжелых металлов в вытяжках из промышленных отходов.....	256
91.	<i>Кугач В.В.</i> Флуориметрическое определение фенола в модельных растворах сточных вод.....	259
92.	<i>Крицук А.В.</i> Спекание оксидной керамики в условиях перитектоидного распада как способ улучшения ее функциональных свойств.....	262
93.	<i>Сербин И.С., Война Ю.С., Стрибуть А.В.</i> БАД на основе растительных масел.....	266
94.	<i>Стрибуть А.В., Война Ю.С., Сербин И.С.</i> Исследование растительных масел и их купажей.....	269
95.	<i>Довгяло Д.А., Голубович Н.С., Ославская Э.В.</i> Спектрофотометрическое определение рибофлавина в гречке.....	272
96.	<i>Глазко М.С., Бруневская Д.С.</i> Модификация методов определения белка в пищевых продуктах.....	274
97.	<i>Антонович И.Н.</i> Проведение обзора качества лекарственных средств на СОАО «ФЕРЕЙН».....	277
98.	<i>Плешевеня О.А., Ермакович А.А.</i> Анализ современных технологий получения калийных удобрений на РУП ПО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»...	281
99.	<i>Шаринская Н.П., Стрелец Е.Ю.</i> Мониторинг токсичных элементов в безалкогольной продукции.....	284
100.	<i>Война Ю.С., Сербин И.С., Стрибуть А.В.</i> Международные и национальные правила GMP.....	287
101.	<i>Будько А.Д.</i> Автоматизация процесса организации питания в учреждениях образования.....	289
102.	<i>Стрелец Е.Ю., Петлицкая А.А.</i> Контроль качества заквасочных культур микроорганизмов отечественного производства.....	294

103.	<i>Шаринская Н.П., Крупенко П.Л.</i> Определение ферментативных активностей коммерческих ферментных препаратов, используемых при производстве овощных соков.....	297
104.	<i>Глазко М.С.</i> Разработка напитков на основе огуречного рассола и определение показателей их качества.....	300
105.	<i>Бруневская Д.С.</i> Физико-химические показатели огуречного рассола и их изменения в процессе хранения.....	303
106.	<i>Белявская В.П.</i> Физико-химические показатели фруктовых сокодержающих напитков с семенами чиа.....	306
107.	<i>Валушко А.В.</i> Герменевтика как метод социо-гуманитарного познания.....	309
108.	<i>Ксензова А.Н.</i> Теория социально-экономического развития К. Поланьи.....	313
109.	<i>Пырх В.А.</i> Искусство эпохи постмодерна: критерии эстетичности.....	316
110.	<i>Каленник А.С.</i> Эстетика диалога.....	319
111.	<i>Болотова О.С.</i> Нравственная проблематика в работах Ф. Ницше и Ф. М. Достоевского.....	322
112.	<i>Шух Е.В.</i> Проблема души современного человека: философские аспекты творчества К.Г Юнга.....	325
113.	<i>Виноградова О. В.</i> Цифровое общество и его риски.....	328
114.	<i>Страх Я.Л.</i> Социально-этические аспекты биотехнологии.....	331
115.	<i>Липницкий П.А.</i> Конвергенция наук и технологии – новый этап научно-технического развития.....	334
116.	<i>Колесова М.С.</i> Феномен клипового мышления и его риски.....	337
117.	<i>Залуцкая А.М.</i> Современные генетические технологии и их социально-этические последствия.....	340
118.	<i>Кузьма А.С.</i> Псевдонаука в современном мире.....	343
119.	<i>Боркина Я.В.</i> Философско-методологические основания инженерного мышления и инженерной деятельности.....	347

## Секция

### ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ

1.	<i>Галах Н.В.</i> Анализ влияния сил трения на движение частицы вдоль вращающейся трубки.....	351
2.	<i>Ковалева А.А.</i> Твердые продукты пиролиза автомобильных шин, получаемые на установке ООО «РТСГРУПП», и возможные направления их использования.....	355
3.	<i>Карниевич А.А.</i> Исследование нефтяного кокса ОАО «НАФТАН» и параметров процесса его измельчения.....	359
4.	<i>Ковалева А.А.</i> Определение условий осаждения ионов $Ni^{2+}$ из отработанных электролитов химического никелирования.....	362
5.	<i>Кузьменкова О.Ю.</i> Составление материального баланса для получения пигмента из отработанного электролита цинкования.....	366
6.	<i>Синькевич В.О.</i> Применение скопа в процессах очистки сточных вод...	368
7.	<i>Синкевич А.А.</i> Анализ технологий извлечения фосфора и азота в виде магний аммоний фосфата на очистных сооружениях канализаций.....	370

8.	<i>Бобровская Я.А.</i> Разработка составов композиционных материалов на основе серы и различных наполнителей.....	373
9.	<i>Авдейчик А.А.</i> Низкотемпературный синтез силикатов натрия.....	376
10.	<i>Ахрамович В.И.</i> Моделирование движения материала по размольному столу среднеходной мельницы.....	379
11.	<i>Ланкин Р.И.</i> Гранулирование керамических порошков.....	383
12.	<i>Жалевич В.А.</i> Обзор конструкций суперкавитаторов.....	388
13.	<i>Петровский М.В.</i> Определение основных параметров структурированных регулярных насадок.....	391
14.	<i>Потоцкий Я.А.</i> Разработка лабораторной установки для диспергирования материалов.....	396
15.	<i>Ревяшко А.А.</i> Повышение долговечности лакокрасочных покрытий.....	400
16.	<i>Воронцов Р.А.</i> Исследование процесса конверсии сульфата железа в присутствии гидроксида калия.....	404
17.	<i>Дудик А.А.</i> Исследование стекол системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ , модифицированных оксидами $TiO_2$ и $ZrO_2$ .....	407
18.	<i>Малявская В.А.</i> Разработка составов и технологических параметров получения радиозащитных стекол.....	410
19.	<i>Хотилевская О.А., Руба М.А.</i> Получение волластонитсодержащих керамических материалов на основе природного сырья для предприятий машиностроительной отрасли.....	414
20.	<i>Грук Д.А.</i> Пористые керамические материалы медицинского назначения на основе диоксида циркония.....	418
21.	<i>Никадон Е.М.</i> Исследование влияния добавок $TiO_2$ , $CrO_3$ , $CeO_2$ на структуру и физико-химические свойства литийалюмосиликатной термостойкой.....	422
22.	<i>Соколовская М.С.</i> Нефритованные металлизированные глазурные покрытия для керамического гранита.....	426
23.	<i>Купрацевич Э.Л.</i> Разработка составов высокотемпературных ситаллоцементов.....	430
24.	<i>Подгорнов Д.С.</i> Глазурь для санитарных керамических изделий.....	433
25.	<i>Костик Е.А.</i> Использование местного сырья для получения клинкерного кирпича.....	437
26.	<i>Лозко С.В.</i> Полуфритгованные металлизированные глазури для керамогранита.....	441
27.	<i>Шнигир Е.И.</i> Влияние красящих оксидов на свойства глушеной глазури.....	445
28.	<i>Макушенко Е.Н.</i> Получение тугоплавких керамических материалов для футеровки тепловых агрегатов.....	449
29.	<i>Козлова В.В.</i> Разработка составов и технологии производства гранулированного пеностекла на основе отсевов сортировки стеклобоя.....	452
30.	<i>Карниевич А.А.</i> Керамические материалы на основе титаната магния для термостабильных электрических конденсаторов.....	456
31.	<i>Пашкевич О.Д., Санкевич Н.Л.</i> Переработка отработанных электролитов гальванического цинкования.....	460

32.	<i>Останук О.Н., Паршин Д.И., Папко Д.Д.</i> Получение компоста из осадков сточных вод ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин».....	463
33.	<i>Бирюкова Н.Н., Сенкевич Б.В.</i> Автоматизация тепловых процессов.....	466
34.	<i>Токарева О.А., Ярош А.А.</i> Разработка алгоритма управления температурой фильеры отжимной машины.....	470
35.	<i>Ельшанов М.Д., Жукович М.С.</i> Утилизации тепла уходящих газов в производстве нефти на Мозырском НПЗ.....	474
36.	<i>Бирюкова В.Н., Гармаза А.А.</i> Изучение передаточных функций, параметры которых зависят от пространственной координаты.....	478
37.	<i>Морозов Н.П., Штраух М.О.</i> Минимизация потерь активной мощности при транзите электроэнергии по межсистемным ЛЭП.....	482
38.	<i>Авсейко А.Д., Пустовалов А.К.</i> Расчет эффективности использования светодиодных ламп в жилых зданиях.....	486
39.	<i>Давлетишин К.М.</i> Сравнительный анализ моделей рынков электроэнергии союзного государства.....	490
40.	<i>Давидовский Н.В., Бойко Ф.В.</i> Организация реверсивных гальванически развязанных схем управления двигателями постоянного тока.....	494
41.	<i>Алексеев В.Л., Лаврусик Е.Е.</i> Совершенствование систем управления получения химического волокна на ООО «ИМТ-Фильтр»... 498	
42.	<i>Стаблецкий В.А., Кузьмицкий Д.В.</i> Синтез системы распознавания на RASPBERRY PI.....	502
43.	<i>Козловский В.Ю., А.М. Шилин А.М.</i> Построение системы поддержания температурного режима в газоанализаторе.....	506
44.	<i>Леончук А.В., Павлюкевич Д.Ю.</i> Исследование теплосетей как объекта автоматизации.....	509
45.	<i>Гвоздев М.М., Карпович М.Д.</i> Фильтрация динамических сигналов в условиях высокого уровня помех.....	512
46.	<i>Панков С.О., Солощенко Д.А.</i> Адаптация математической модели теплообменника типа «реактор идеального вытеснения в реакторе идеального смешения» для целей управления.....	515
47.	<i>Клындюк С.Н., Лакуцевич В.Ч.</i> Модернизация системы управления промышленной водоподготовкой.....	519
48.	<i>Василевич А.А., Косолапов А.В.</i> Совершенствование систем управления процесса при изготовлении изоляции кабеля.....	523
49.	<i>Швейкус В.А., Фоменко А.В.</i> Декомпозиция системы управления ректификацией нефти.....	527
50.	<i>Козлов Г.Г., Бирюков А.Г.</i> Изучение стабильности лекарственных средств на УП «МИНСКИНТЕРКАПС» с помощью карты Шухарта.....	532
51.	<i>Липский П.Л., Роленок Д.И.</i> Трансформаторная ЭДС в схеме электромагнитного расходомера.....	535
52.	<i>Шкудун Д.П., Алешкевич В.Ч.</i> Автоматизация системы вентиляции на ОАО «МЭТЗ им. В. И. Козлова».....	540

53.	<i>Гулюк Д.И., Максимова А.В.</i> Эффективность замены устаревшего электрооборудования современным на предприятиях лекарственных препаратов.....	544
54.	<i>Елисеева М.А., Тумилович И.Ф.</i> Некоторые мероприятия по экономии электроэнергии на освещение промышленных производств.....	547
55.	<i>Чакур Д.И., Алешкевич Р.Ч.</i> Модернизация системы автоматизации вентиляции здания содорегенерационного котла.....	551

Научное издание

Ответственный за выпуск *Е.О. Черник*

**70-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