

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

## **ИНТЕГРАЦИЯ И РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА – ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ**

СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«МИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2019»

В 3-х томах

Том 2



11–12 декабря 2019 г.  
Минск, Республика Беларусь

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

---

---

**ИНТЕГРАЦИЯ И РАЗВИТИЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
СОТРУДНИЧЕСТВА – ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ**

---

---

Сборник статей  
II Международной научно-технической конференции  
«МИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2019»  
г. Минск, 11–12 декабря 2019 г.

В 3-х томах

Том 2

Минск 2020

УДК 001.83+678  
ББК 72.4:35.71  
И73

**Редакционный совет:**

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

*МАКУРОВ Леонид Геннадьевич*, заместитель руководителя Представительства Федерального агентства по делам Содружества Независимых Государств, соотечественников, проживающих за рубежом, и по международному гуманитарному сотрудничеству (РОССОТРУДНИЧЕСТВО) в Республике Беларусь (председатель);

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

*ДОРМЕШКИН Олег Борисович*, проректор по научной работе Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук, профессор;

*САКОВИЧ Андрей Андреевич*, проректор по учебной работе Белорусского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент;

*КАЛИНИЧЕНКО Александр Сергеевич*, директор международного информационно-аналитического центра трансфера технологий Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук.

**Интеграция и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества – взгляд в будущее** : сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения – 2019», Минск, 11–12 декабря 2019 г. : в 3 т. – Минск : БГТУ, 2020. – Т. 2. – 242 с.  
ISBN 978-985-530-822-6.

В издании представлены научные статьи, освещающие проблемы создания новых полимерных и композиционных материалов, технологий и оборудования для науки и техники, включая применение в экстремальных условиях, вовлечение отходов в производство.

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

УДК 001.83+678  
ББК 72.4:35.71

ISBN 978-985-530-822-6 (Т. 2) © УО «Белорусский государственный технологический университет», 2020  
ISBN 978-985-530-819-6

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ:  
ОТ НАУКИ К ИННОВАЦИЯМ**

---

---

УДК 630\*37:658.011.56

**В.В. Абрамов, И.Н. Троянов**

Воронежский государственный  
лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

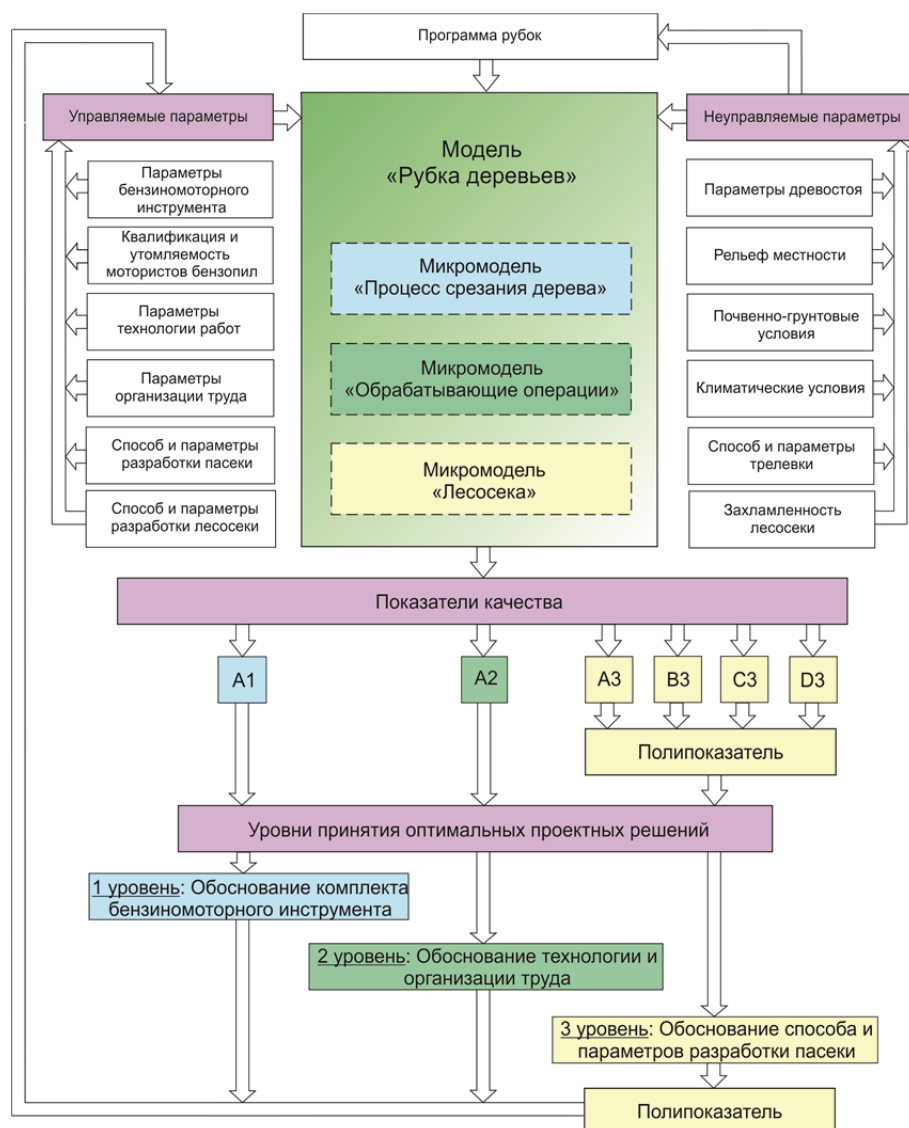
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ  
ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ  
ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ**

Одной из основных задач развития лесозаготовок является комплексное совершенствование лесосечных работ с позиции снижения энергоемкости производственных процессов, роста производительности труда, повышения лесоводственного эффекта рубки и уменьшения негативных экологических последствий окружающей среде. Возможности реализации такого подхода находятся на стадии проектирования производства при обосновании эффективных технико-технологических и организационных решений по выполнению обрабатывающих операций [3].

В настоящее время на валке деревьев, обрезке сучьев и раскряжевке хлыстов широко используются бензопилы, особенно в условиях когда другие средства ограничены в работе: по своим техническим возможностям (из-за рельефа местности, несущей способности грунтов, крупности деревьев); лесоводственно-экологическими требованиями (к повреждаемости оставляемых деревьев, сохраняемости подроста и доли технологических площадей на лесосеке); а также экономической целесообразностью (при освоении разрозненных лесосек с небольшими объемами лесопользования). Эффективность механизированного выполнения обрабатывающих операций во многом зависит от: выбора технологии и комплекта бензиномоторного инструмента; способа, параметров и последовательности разработки пасеки и ленты; а также от индивидуальных особенностей мотористов бензопил [1].

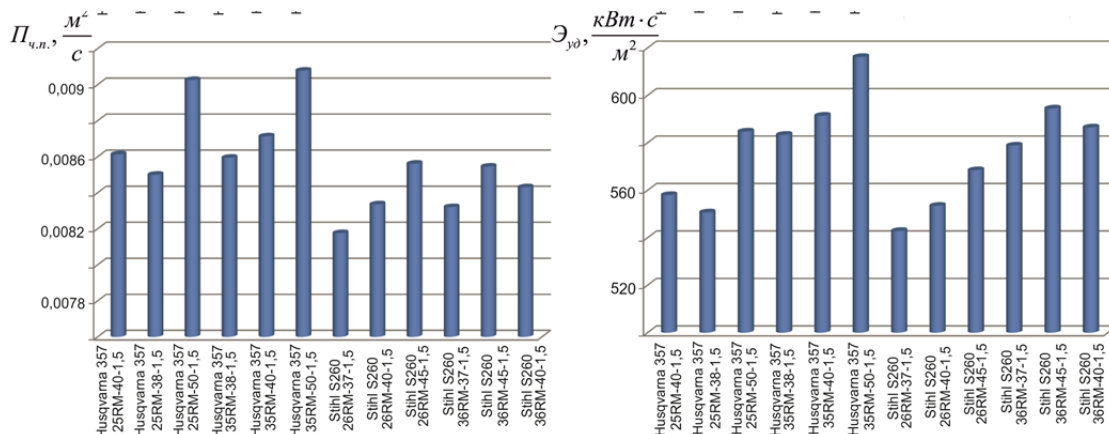


Большое количество сравниваемых вариантов, широкий диапазон изменения природно-производственных условий разрабатываемых лесосек и параметров рубок, различная квалификация и утомляемость исполнителей, а также необходимость многосторонней оценки обрабатывающих операций, затрудняет принятие оптимальных научно-обоснованных проектных решений в данном вопросе. В связи с этим была обозначена следующая цель исследований: совершенствование выполнения обрабатывающих операций лесосечных работ бензиномоторным инструментом путем выбора оптимальных проектных решений в заданных природно-производственных условиях на основе комплексной оценки их эффективности [4].



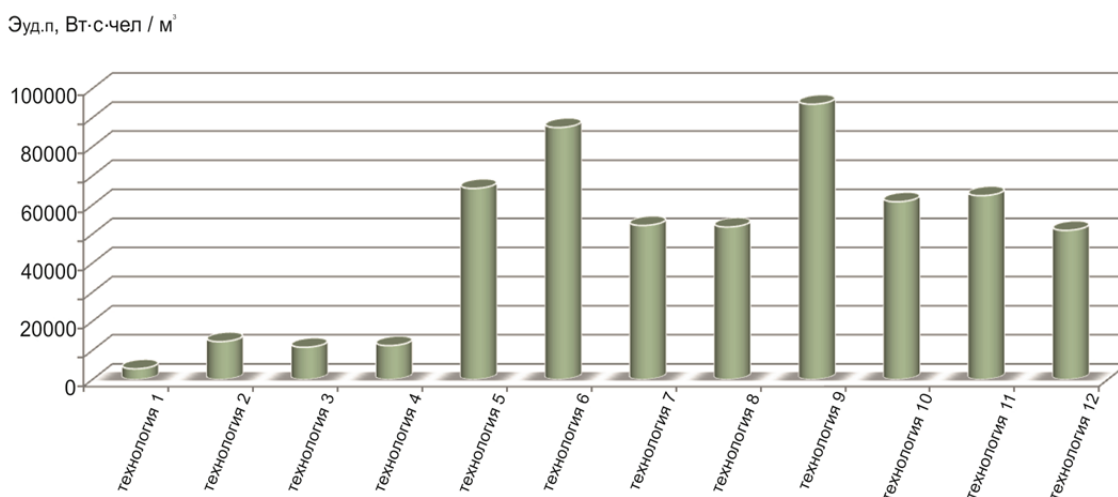
**Рис. 1 – Структурная схема автоматизированной системы принятия оптимальных проектных решений по выполнению обрабатывающих операций лесосечных работ**

На первом уровне автоматизированной системы принятия оптимальных проектных решений для обоснования оптимального комплекта бензиномоторного инструмента используется математическая модель процесса срезания дерева по определению удельных энергозатрат (рис.2).



**Рис. 2 – Результаты имитационного эксперимента по расчету удельных энергозатрат для сравниваемых комплектов бензиномоторного инструмента**

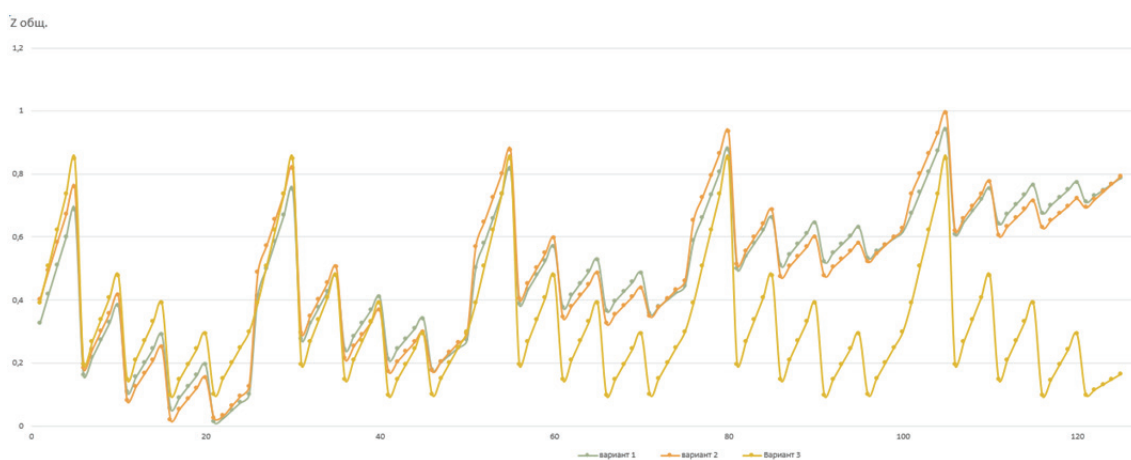
На втором уровне для обоснования оптимальной технологии и организации труда применяются имитационные модели процесса выполнения обрабатывающих операций по определению удельных приведенных энергозатрат рис.3.



**Рис. 3 – Результаты моделирования исследуемых технологий выполнения обрабатывающих операций применительно к условиям Александровского лесничества (Владимирская область)**

На третьем уровне для обоснования оптимального способа и параметров разработки пасеки используется обобщенный критерий

оценки эффективности выполнения обрабатывающих операций с учетом общих затрат, лесоводственного ущерба, а также повреждаемости подроста (рис.5). При этом рассматривается три способа разработки пасаки. Первый способ предполагает прокладку пасечных волоков с последующей разработкой полупасек лентами определенной ширины начиная от близлежащих к пасечному волоку. Во втором способе разработки пасаки прокладка пасечных волоков не предполагается и валка деревьев происходит внутри насаждения на ленте определенной ширины расположенной перпендикулярно магистральному волоку. И наконец, третий способ разработки пасаки, предлагаемый для сравнения, предполагает использование технологических визиров под углом к магистральному и пасечному технологическому коридору [2, 5].



**Рис. 4 – Результаты имитационного эксперимента по обоснованию оптимального способа выполнения обрабатывающих операций на пасаках (Александровское лесничество, Владимирская область)**

Таким образом, в результате проведенных исследований был разработан математический аппарат, программное и информационное обеспечение для выбора применительно к конкретным природно-производственным условиям оптимального комплекта бензомоторного инструмента, технологии выполнения обрабатывающих операций, способа и параметров разработки пасаки с позиции энергозатрат, удельных приведенных энергозатрат, технико-экономического результата и лесоводственно-экологических последствий соответственно.

Полученное программное обеспечение рекомендовано к использованию на лесозаготовительных предприятиях. К настоящему времени оно успешно внедрено в Московской и Тамбовской областях. По результатам внедрения наблюдается снижение на выполнении обрабатывающих операций: удельных и удельно-приведенных

энергозатрат (от 4 до 9 %); общих денежных затрат (от 3 до 7%); а также лесоводственного и экологического ущерба (от 5 до 11 %).

### **Список использованных источников**

1. Chernykh, A.S. Improvement of processing operations of cutting work using gasoline-powered tools [Text] / A.S. Chernykh, A.I. Maksimenkov, V.V. Abramov, I.N. Troyanov, L.D. Buhtoyarov, D.N. Afonichev // IOP Conference Series: Earth and Environment Science. – 2019. – № 226. – P. 1–9.

2. Troyanov, I.N. Investigation of technological variants of performing processing operations of logging works using chainsaws [Text] / I.N. Troyanov, V.V. Abramov, A.S. Chernykh, A.I. Maksimenkov // IOP Conference Series: Earth and Environment Science. – 2019. – № 392. – P. 1–10.

3. Абрамов, В. В. Разработка и обоснование эффективной технологии трелевки в малолесных районах [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.01: защищена 24.04.09 / В. В. Абрамов. – Воронеж, 2009. – 366 с.

4. Троянов, И.Н. Повышение эффективности пиления древесины бензиномоторным инструментом [Текст] / И.Н. Троянов, В.В. Абрамов, Л.Д. Бухтояров, А.С. Черных, Д.Н. Афоничев // Лесотехнический журнал. – 2019. – № 1. – С. 128–139.

5. Троянов, И.Н. Исследование технологических вариантов выполнения обрабатывающих операций лесосечных работ бензопилами [Текст] / В.В. Абрамов, И.Н. Троянов, Л.Д. Бухтояров, Д.Н. Афоничев, А.С. Черных, Максименков А.И. // Лесотехнический журнал. – 2019. – № 3. – С. 114–130.

УДК 669.58:620.197

**В.А. Ашуйко, Л.Н. Новикова**

Белорусский государственный технологический университет

**Н.И. Урбанович, К.Э. Барановский**

Белорусский национальный технический университет

### **ЦИНКСОДЕРЖАЩИЕ КРАСКИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ**

Цинкование считается одним из самых надёжных, экономичных и потому распространённых методов защиты стали от коррозии. Горячеоцинкованная сталь в Республике Беларусь производится, в частно-

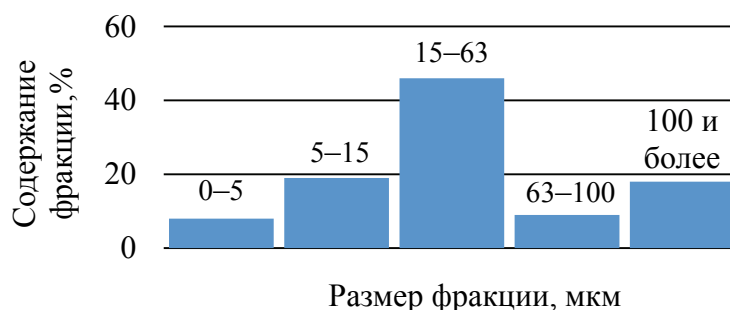
сти, на предприятии ОАО «Речицкий метизный завод». В процессе получения продукции образуется около 100 т отходов цинковой пыли в год, которую можно использовать для получения цинкнаполненных красок. Цинкнаполненные краски отличаются долговечностью и используются для защиты стальных сооружений от коррозионного воздействия. Антикоррозионные краски могут защищать сталь от коррозии так же надежно, как при «горячем» способе цинкования, поэтому способ часто называют «холодным» цинкованием.

Нанесенное лакокрасочное покрытие имеет структуру, пропускающую минимальное количество влаги к железу. Покрытие защищает железо активным, катодным способом. Но при взаимодействии цинка с водой и воздухом на его поверхности образуется оксид и гидроксид происходит уплотнение структуры покрытия, оно перестает пропускать влагу и воздух. Вступает в силу пассивная, барьерная защита. Однако, если целостность покрытия будет нарушена (дефекты, царапины, трещины) в силу снова вступит катодная, активная защита [1].

Параметры частиц и количественное содержание цинка играют основную роль в качестве покрытия. Оптимальный размер частиц цинковой пыли, обеспечивающий достижение эффективной электрохимической защиты металла цинксодержащими красками составляет 3–15 мкм. Содержание металлического цинка в пигменте из цинковой пыли должно быть не менее 94%, а общее содержание цинка – не менее 98%.

Результаты определения фракционного состава показали, что цинковая пыль представляет собой дисперсный отход с частицами в основном круглой формы и размерами от 3 до 200 мкм.

Цинковую пыль для получения цинкнаполненных красок подвергали рассеву с использованием воздушно-центробежного классификатора фирмы «Ламел 777». Пленкообразователи: жидкое стекло, этилсиликатное и акриловое связующее, предоставлены производителем красок ООО «Гальварекс». Результаты рассева цинковой пыли по фракциям исходной цинковой пыли представлены на рисунке 1.



**Рис. 1 – Фракционный состав отхода горячего цинкования – цинковой пыли**



Коррозионные свойства красок изучали электрохимическими методами. Для оценки коррозионной стойкости покрытий использовался метод снятия катодных, анодных поляризационных кривых и метод электронной импедансной спектроскопии (ЭИС). С целью проведения данных испытаний были получены электроды (20x20 мм), которые вырезались из стального листа, толщиной 1,5 мм марки Ст3 с помощью гильотинных ножниц и установки лазерной резки. Поверхность образцов перед нанесением цинксодержащих красок предварительно обрабатывалась в пескоструйном аппарате, обезжиривались в ацетоне, промывались дистиллированной водой и высушивались на воздухе.

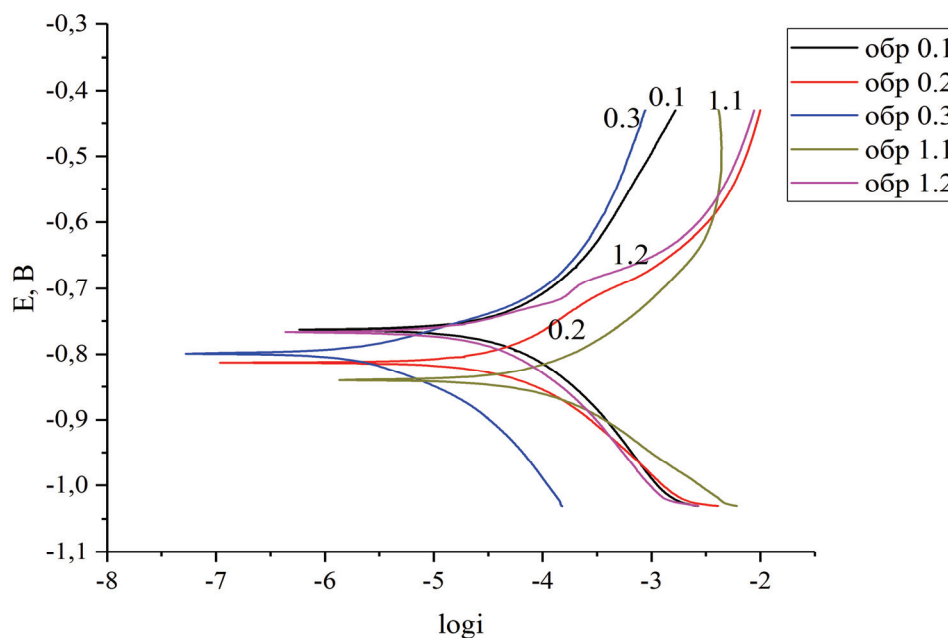
Защитный эффект связующего на поверхности образца определяли капельным методом. Испытания защитных свойств методом капли проводились с применением раствора уксуснокислого свинца 50 г/дм<sup>3</sup>. Капля раствора помещалась на поверхность образца и отмечалось время до появления сплошного темного пятна в результате диффузии ионов свинца через связующее к поверхности цинка и протекания реакции контактного выделения свинца.

Время появления сплошного темного пятна характеризует пористость покрытия. Чем больше это время, тем меньше пористость связующего и сильнее его защитный эффект. Результаты измерений образцов показали, что покрытие краской на основе жидкого стекла проявляет меньшую пористость. Для определений выбирались образцы с одинаковой или близкой толщиной покрытия.

Коррозионные исследования проводили с использованием потенциостата / гальваностата Metrohm Autolab PGSTAT 302N, оснащенный модулем импедансной спектроскопии FRA 32N в стандартной трехэлектродной ячейке с боковым креплением рабочего электрода (изучаемый образец), насыщенным хлоридсеребряным электродом сравнения (нхсэ) и вспомогательным платиновым электродом. Для расчетов использовалось программное обеспечение «IPC2000». Все потенциалы в работе пересчитаны в шкалу стандартного водородного электрода.

Электрохимическим методом поляризационных кривых определялись потенциалы и токи коррозии образцов в 3% растворе NaCl. Перед снятием поляризационных кривых образец выдерживался в растворе ~ 25 мин до установления постоянного значения потенциала. Затем проводилась поляризация образца от стационарного потенциала в катодную область со скоростью 1 мВ/с до потенциала ~ -1,3 В (нхсэ). Далее направление развертки изменялось и электрод поляризовался в анодную область до достижения анодной плотности тока ~0,1 мА/см<sup>2</sup> после чего направление развертки потенциала снова изменялось. Таким образом регистрировалось 2 цикла поляризационных кривых в диапазоне потенциалов от ~ -1,3 до ~ -0,9 В (нхсэ).

Поляризационные кривые исследованных образцов в 3% NaCl представлены на рис. 2, на анодных ветвях кривых можно отметить нечетко выраженный максимум тока при потенциалах около  $-1,25$  В (отн. нас. хсэ), который, вероятно, соответствует реакции образования оксида цинка на восстановленной поверхности цинка после катодной поляризации до  $-1,3$  В.



**Рис. 2 – Поляризационные кривые, полученные в 3% растворе NaCl, для образцов № 0.1; 0.2; 0.3; 1.1; 1.2 покрытых цинксодержащими составами.**

Образцы 0.1 пленкообразователь – жидкое стекло, пыль круглая, марка Inst 800, 3–15 мкм; 1.1 пленкообразователь – жидкое стекло, пыль круглая – отход горячего цинкования 3–15 мкм; 0.2 пленкообразователь – этилсиликатный полимер, цинковая пыль круглая, марка Inst 800, 3–15 мкм; 1.2 пленкообразователь – этилсиликатный полимер пыль круглая – отход горячего цинкования 3–15 мкм; 0.3 пленкообразователь – полиакрилат, пыль круглая, марка Inst 800, 3–15 мкм.

Плотность тока коррозии и потенциал коррозии определяли методом экстраполяции по пересечению экстраполированных прямолинейных участков тафелевских поляризационных кривых. Определенные таким образом значения потенциалов и плотности тока коррозии усредняли по 2 параллельным опытам.

Метод электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС) использовался для изучения поведения коррозии образцов в контакте с 3,5% NaCl [2]. Спектры снимали при значении стационарного потенциала через 1 час после погружения образцов в раствор, диапазон частот измерения составлял  $10^6$ – $10^{-2}$  Гц, амплитуда колебаний – 10 мВ,

количество точек на декаду колебаний – 10. Результаты расчетов весового  $K_m$  и глубинного  $\Pi$  показателя коррозии для образцов, покрытых цинковыми красками на основе акрилового связующего приведены в таблице. Для расчетов использовали данные весовых определений.

**Коррозионная стойкость нескольких образцов, покрытых цинксодержащими составами в 3% растворе NaCl**

Номер образца	Время опыта $\tau$ , ч	$i$ – плотность тока коррозии, $A/m^2$	Потеря массы образца $\Delta m$ , г	Площадь образца $S$ $m^2$	Массовый показатель коррозии $K_{m,o}$ , $г/(m^2 \cdot ч)$	Глубинный показатель коррозии $\Pi$ мм/год
03	52	0,0615	0,0066	0,006566	0,01933	0,02771
0.3	52	0,0601	0,0088	0,008824	0,02256	0,02374
13	52	0,06218	0,0272	0,006901	0,07580	0,09312
1.3	52	0,06863	0,0307	0,007056	0,08367	0,10279

Анализ фракционного состава цинковой пыли позволил установить, что размер фракции, представляющий интерес для использования в цинкнаполненных красках составляет 27% общей массы отхода.

Результаты исследования коррозионных свойств цинксодержащих составов электрохимическим методом показали перспективность их использования для защиты стали от коррозии. Лучшие антикоррозионные защитными свойствами проявили составы на основе акрилового связующего.

Для образцов, покрытых составами на основе акрилового связующего определены весовой и глубинный показатели коррозии.

В заключение следует отметить, что отход горячего цинкования – цинковая пыль является перспективным материалом для изготовления цинксодержащих лакокрасочных покрытий.

**Список использованных источников**

1. Цинкнаполненные антикоррозионные грунтовки / А.В. Павлович, В.В. Владенков, В.Н. Изюмский // Лакокрасочная промышленность. – 2010. – № 3. – С. 38–46.
2. K. Schaefer, A Miszczyk. Improvement of electrochemical action of zinc-rich paints by addition of nanoparticulate zinc // Corrosion Science. Vol. 66 (2013). P. 380–391.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОБЫЧИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНДЕНСАТООТДАЧИ ПЛАСТА

В настоящее время многие компании активно приступают к разработке сложных, глубокозалегающих залежей, в том числе двухфазных залежей, в которых присутствует газонефтяной контакт. Как правило, газ таких залежей отличается высоким содержанием конденсата ( $C_5+v$ ), что, с одной стороны, является положительным фактором ввиду ценности этого ресурса [1], с другой – требует особого подхода для рационального и максимально полного их извлечения.

Как известно, пластовый флюид претерпевает значительные изменения при разработке месторождения [2], и компоненты  $C_5+v$  по мере снижения пластового давления переходят из газообразного в жидкое агрегатное состояние (рис. 1). Это приводит к меньшему извлечению запасов конденсата, скоплению жидкой фазы на забое и другим проблемам. Несмотря на практическую невозможность полного извлечения конденсата, задача повышения конденсатоотдачи является актуальной.

Известно, что одним из путей решения этой задачи является поддержание пластового давления на уровне выше давления начала конденсации. Это, как правило, осуществляется с помощью закачки добытого и осушенного газа обратно в пласт (сайклинг-процесс), закачкой других газообразных агентов (например, азота) [3].

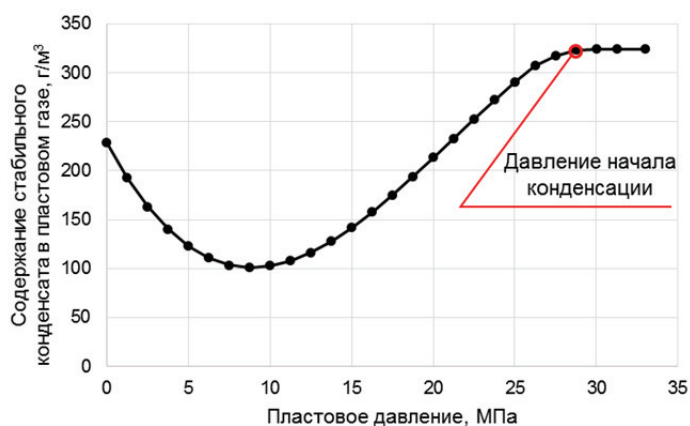


Рис. 1 – Типовая кривая изменения содержания конденсата

В некоторых случаях это является рентабельным, в других – нет, и такие технологии до сих пор не получили широкого практического распространения.

В этой связи автором была рассмотрена другая перспективная технология, заключающаяся в работе добывающей газовой скважины на циклическом режиме. В рамках работы была поставлена задача определения влияния технологии циклической добычи на конденсатоотдачу. В качестве метода решения задачи было использовано гидродинамическое моделирование. На примере участка залежи с одной добывающей скважиной были рассчитаны различные варианты циклической добычи (рис. 2). Моделирование производилось на композиционном варианте гидродинамического симулятора, который позволяет отследить динамику изменения состава пластового флюида, в т. ч. изменение содержания компонентов  $C_5+$  в пластовом газе в ходе разработки. В качестве параметра, определяющего режим работы, был выбран параметр депрессии, он принимал значения 5, 10, 20, 30 %. Были рассчитаны варианты с длительностью цикла работы 1 месяц, 6 месяцев, 36 месяцев.

		Депрессия на первом режиме, %		
		10	20	30
Депрессия на втором режиме, %	5	вар.1	вар.2	вар.4
	10		вар.3	вар.5
	20			вар.6
	30			

Рис. 2 – Схема расчетных вариантов

Кроме того, для сравнения были рассчитаны варианты работы скважины на соответствующих значениях постоянной депрессии. Результаты расчетов представлены на рисунке 3.

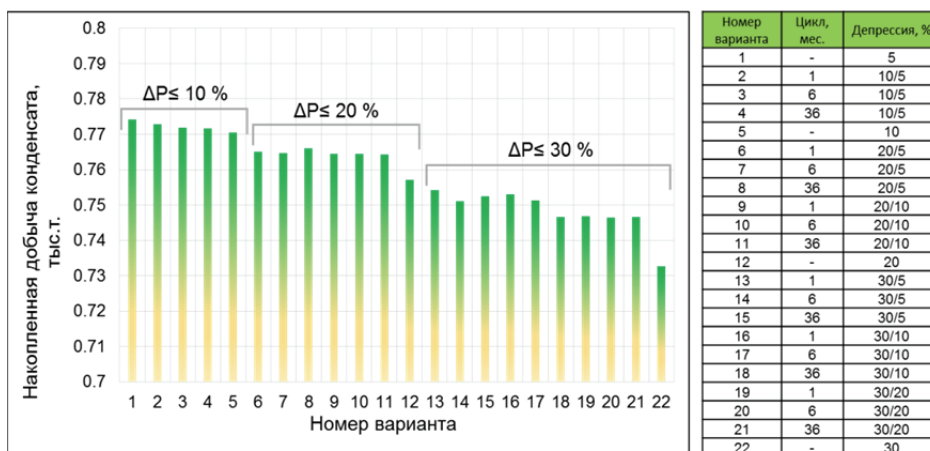


Рис. 3 – Накопленная добыча конденсата по вариантам



Прослеживается тенденция к увеличению конденсатоотдачи при уменьшении депрессии. В то же время, при разных величинах депрессии оптимальное время цикла может различаться. Так, в некоторых случаях оптимальным можно признать длительность цикла в 1 месяц, в других – 36 месяцев.

Таким образом, в рамках работы на примере участка залежи была установлена возможность увеличения конденсатоотдачи с помощью применения циклического режима работы добывающей скважины. Для определения оптимального режима и длительности цикла необходим дополнительный учет как технологических, так и экономических ограничений, что является предметом дальнейших исследований.

### **Список использованных источников**

1. Люгай, А. Д. Повышение компонентоотдачи при разработке газоконденсатных месторождений с высоким содержанием неуглеводородных компонентов: дисс. канд. техн. наук: 25.00.17 / Люгай Антон Дмитриевич; Газпром ВНИИГАЗ. – Москва, 2016. – 200 с.

2. Гриценко А. И. Научные основы прогноза фазового поведения пластовых газоконденсатных систем / А. И. Гриценко, И. А. Гриценко, В. В. Юшкин, Т. Д. Островская. – М.: Недра, 1995. 432 с.

3. Юшков, А. Ю. Оценка вариантов сайклинга на ачимовских пластах Уренгойского месторождения / А. Ю. Юшков, П. В. Меркушин // Нефтепромысловое дело, 2015. – № 4. С. 38–53.

УДК 674.812.2

**С.И. Вольфсон, И.З. Файзуллин, З.М. Бадретдинов,  
Т.В. Щербакова, А.З. Файзуллин**  
Казанский национальный исследовательский  
технологический университет

### **РАЗРАБОТКА ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

В настоящее время изделия из пластмасс стали неотъемлемой частью нашей жизни. Мы сталкиваемся с ними повсеместно: в быту, офисе, производстве, транспорте. Такое широкое распространение пластмассы получили благодаря своим многочисленным достоинствам: высокая механическая прочность, износоустойчивость, малая плотность, низкая тепловая проводимость, высокие электроизоляци-

онные свойства, химическая стойкость к агрессивным средам, высокая пластичность и др. Производство пластмасс и изделий из них во всем мире непрерывно растет с каждым годом [1]. Однако у этого материала есть и негативные стороны. Одним из основных недостатков пластмасс является то, что из-за своей распространённости они создают большое количество отходов, которые могут занимать большие территории и вредить окружающей среде долгие годы. Это связано с тем, что отходы данных полимеров сложно утилизировать традиционными методами. При их сжигании образуются опасные для здоровья человека и окружающей среды соединения, которые не могут быть полностью удалены или нейтрализованы имеющимися технологиями. Не является решением проблемы и захоронение отходов пластмасс в землю, не только по причине длительных сроков их разложения, но и по причине значительных объемов (25 %). Наиболее перспективным направлением утилизации полимерных отходов является их вторичная переработка. Использование вторичных пластмасс в качестве новой ресурсной базы – одно из наиболее динамично развивающихся направлений переработки полимерных материалов в мире. Для России оно является достаточно новым, перспективным и, несомненно, актуальным. Интерес к получению более дешевых ресурсов, которыми являются вторичные полиолефины, весьма ощутим, поэтому мировой опыт их повторной переработки успешно востребуется. Особо интересной сферой переработки вторичного полимерного сырья является использование их в композиционных материалах.

В данной исследовательской работе рассматривается возможность применения отходов пластмасс для получения древесно-наполненных полимерных композиционных материалов. Так как применение вторичных термопластов ограничено в связи со снижением их физико-механических свойств, вызванным структурными изменениями, необходимо найти пути решения данной проблемы. Анализ литературы показал, что решением данной задачи является модификация вторичных полиолефинов. Модификаторами могут выступать различные вещества, такие как термоэластопласты, каучуки, различные виды наполнителей и др. [2–5].

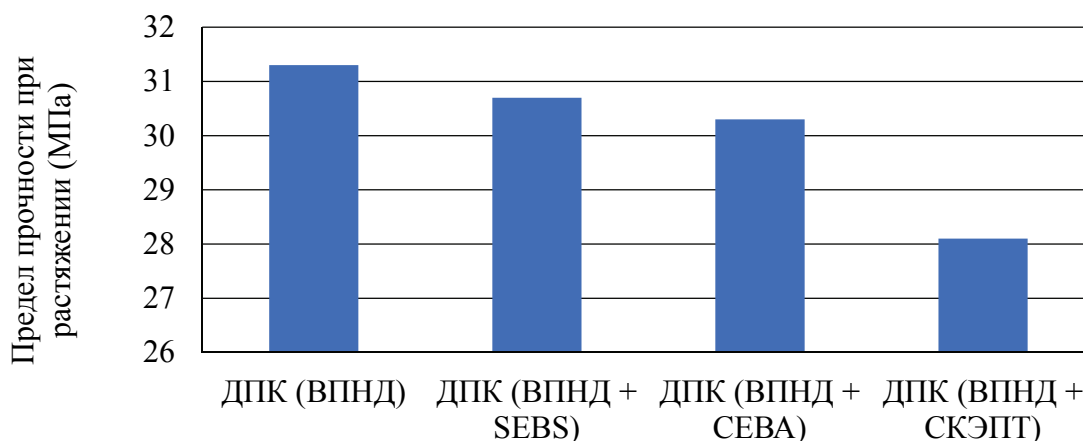
В качестве полимерных связующих в композициях были использованы отходы производства товаров народного потребления из ПНД (ВПНД). Основным наполнителем была древесная мука марки 180 с размером частиц 170 мкм и степенью наполнения 50 мас. %. Модификаторами вторичного полиэтилена были стирол-этилен-бутилен-стирольный синтетический каучук (SEBS) марки Globalprene-7551 (LCY Chemical Corp, Тайвань), сополимеры этилена с винилацетатом

(СЭВА) марки 11808-340 (ОАО “НефтеХимСэвилен”, РФ), этилен-пропиленовый каучук (СКЭПТ) марки 50 (ООО “КамаХимПласт”, РФ). Для улучшения процесса смешения и формования использовался лубрикант марки TPW 113 производства компании Struktol. В качестве добавки улучшающей совместимость был выбран продукт компании Du Pont – Fusabond E226. В качестве защиты от окисления макромолекул полимера использовался антиоксидант марки Ирганокс 1010.

Исследуемые композиции получали в смесительной камере «Measuring Mixer 350E» с винтообразными роторами смесительного оборудования фирмы Brabender «Plasti – Corder®Lab – Station» (Германия) при температуре 160 °С в течение 6 минут при скорости вращения роторов 90 об/мин. Образцы для физико-механических испытаний были получены на инъекционно-литьевой машине КМ 50/180 СХ фирмы Krauss Maffei (Германия).

Для полученных композиций были проведены испытания такие как, показатель текучести расплава (ГОСТ 11645-73), показатель ударной вязкости (ГОСТ 4647-2015) и прочность при растяжении (ГОСТ 11262-80).

Представлялось важным оценить влияние модификаторов полимерной матрицы на физико-механические характеристики композиций (рис. 1). Как видно, добавление в композиции SEBS и СЭВА незначительно влияет на прочностные свойства композиции. В случае со СКЭПТ снижение прочности составило более 10 %. Возможно, это связано с неполярной природой СКЭПТ. Благодаря своей неполярности, этот модификатор взаимодействует с макромолекулами ПНД и практически остается нейтральным по отношению к наполнителю, тогда как SEBS и СЭВА, имеющие в своём составе как полярные, так и неполярные соединения, взаимодействуют с обоими компонентами.



**Рис. 1 – Влияние модификаторов на показатель предела прочности при растяжении ДПК**

Важным технологическим параметром, влияющим на перерабатываемость композита, является индекс текучести расплава (ИТР).

По данным на рис. 2 видно, что наиболее значимый вклад на параметр текучести композита внёс модификатор СЭВА-118, который позволил вдвое увеличить индекс текучести расплава. Вероятнее всего, это связано с наличием в составе сэвилена как неполярных этиленовых, так и полярных винилацетатных групп, позволяющих древесному наполнителю равномернее распределиться в матрице полимера и тем самым уменьшить вязкость всего композита.

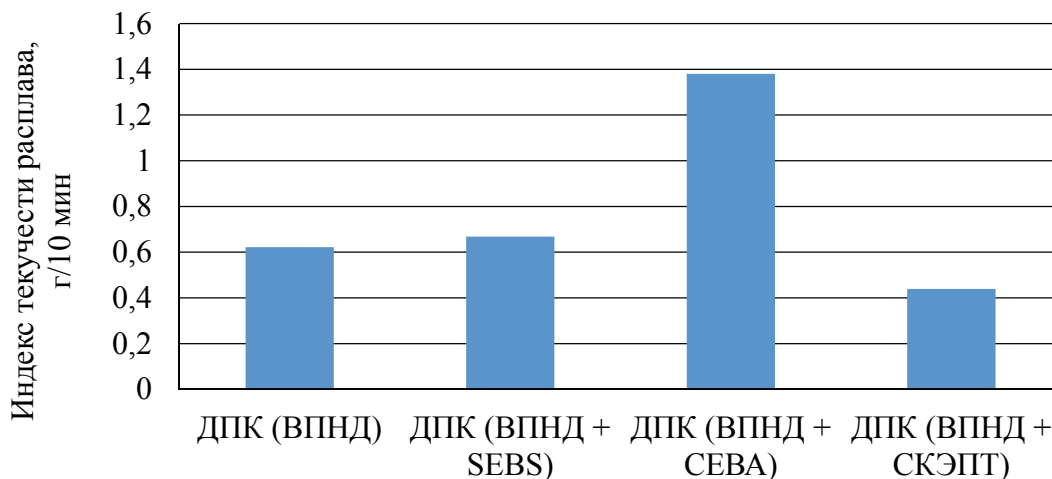


Рис. 2 – Изменение параметра текучести композитов от вида модификатора

Важной характеристикой древесно-полимерных композиций, влияющей на эксплуатационные свойства, является ударная вязкость. Как видно из рис. 3, все представленные модификаторы повышают ударную вязкость, что особенно заметно в композициях содержащих SEBS и СКЭПТ. По всей видимости, это связано с тем, что эти каучуки обладают повышенными высокоэластичными свойствами.

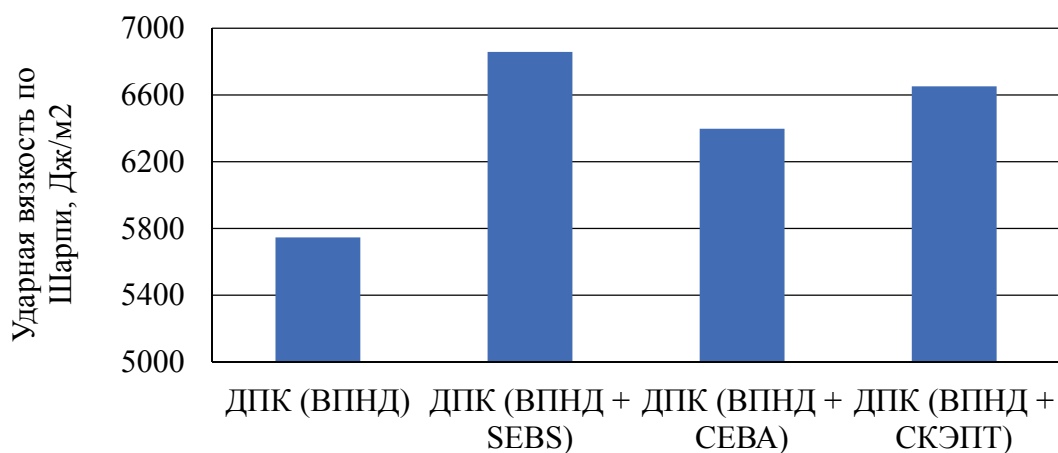


Рис. 3 – Влияние модификаторов на ударную вязкость композитов

Таким образом, исследовано влияние различных модификаторов на физико-механические и эксплуатационные свойства древесно-полимерных композиций. Показано, что оптимальным явилось использование в составе композиций модификаторов SEBS и СЭВА, улучшающих основные эксплуатационные характеристики ДПК на основе вторичного полиэтилена.

#### **Список использованных источников**

1. Мальцева О. Н. Пластмасса и ее отходы //Твердые бытовые отходы. – 2016. – № 5. – С. 29–29.
2. Абдуллаев Р. А., Овчинникова Г. П., Устинова Т. П. Модификация вторичных полимеров //Пластические массы. – 2012. – № 4. – С. 49–53.
3. Fayzullin I. Z. et al. Glass-Filled Wood-Polymer Composites Based on Polypropylene //Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications Ltd, 2019. – Vol. 816. – P. 197–201.
4. Fayzullin IZ, Volfson SI, Musin IN, et al. The physicomechanical and rheological characteristics of wood-polymer composites based on thermally and mechanically modified filler. Int Polym Sci Technol2017; 44(2): 39–43.
5. Fayzullin I. Z. et al. Influence of the type of wood flour and nano-additives on structure and mechanical properties of wood polymer composites based on polypropylene. Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2016) AIP Conf //Proc. 1785, doi. – Vol. 10. – No. 1.4967155.

УДК 620.22

**В.С. Безбородов, С.Г. Михалёнок, Н.М. Кузьменок**  
Белорусский государственный технологический университет

#### **СОВРЕМЕННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ, АНИЗОТРОПНЫЕ ВЕЩЕСТВА, РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЕ**

Учитывая, что большинство природных соединений и биополимеров – полисахариды, белки, гликопротеины, нуклеиновые кислоты характеризуются анизотропными свойствами; что возникновение жизни на Земле может являться результатом химической эволюции (теории В.И. Вернадского, А.И. Опарина, Дж. Холдейна); что самоорганизация динамических структур (диссипативных), химических



систем и органических молекул (теории И.Р. Пригожина, П.Ж. де Жена, ячейки К.А. Бенара) также является одним из возможных путей эволюции, мы предлагаем при разработке новых материалов и структур одновременно с условиями их получения рассматривать и учитывать фактор (роль) анизотропии – анизотропную форму молекул и анизотропию их свойств, анизотропию реакционной способности; самоорганизацию химических систем и органических молекул, обуславливающих региоселективность протекания и образования комплементарных структур (супрамолекулярная химия).

Методология создания новых материалов включает два подхода, основанных на варьировании составов систем, используемых в качестве прекурсоров (исходного сырья) или варьировании процессов, включая синтез, и условия последующей обработки полученных продуктов.

Сложные системы при определенных условиях способны реализовать согласованное поведение и конкретный путь развития. Спонтанное формирование новых типов систем и структур, переходы от хаотических (беспорядочных) режимов функционирования к порядку и организованной структуре в неравновесных системах, возникновение новых динамических состояний материи были детально изучены И. Пригожиным – лауреатом Нобелевской премии по химии (1977 г.) «за работы по термодинамике необратимых процессов, особенно за теорию диссипативных структур» [1]. Было показано, что неравновесные термодинамические системы (**диссипативные структуры**) при определённых условиях, поглощая вещество и энергию из окружающего пространства, могут совершать качественный скачок к упорядочению и самоорганизации.

Управление процессами самоорганизации является важнейшей задачей на пути к созданию новых функциональных материалов с заданными физико-химическими свойствами и разработке разнообразных устройств на их основе.

Очевидным подходом к контролю структуры самоорганизующихся систем является управление градиентными полями, определяющими силы притяжения и отталкивания ее элементов, а также, по нашему мнению, использование анизотропных материалов, которые будут способствовать созданию наведенной анизотропии, самоорганизации и упорядочиванию системы.

Несомненно, что фундаментальный фактор анизотропии является определяющим в развитии современного материаловедения и создании новых поколений материалов с заданными физико-химическими свойствами.

Имея более чем 40 летний опыт исследований различных типов жидкокристаллических материалов, мы разработали оригинальную **методологию** создания не только ЖК материалов для всех типов электрооптических устройств отображения информации, но новых анизотропных материалов и устройств с более широким спектром практического использования.

Предлагаемые подходы получения новых материалов и анизотропных веществ, моделирования различных процессов базируются на закономерностях эволюционного развития природных органических соединений; многочисленных данных, полученных в последние десятилетия при изучении жидких кристаллов и упорядоченных сред; на использовании анизотропии молекул полифункциональных соединений для дизайна новых молекулярных структур (инженерия молекул), пленок, жидких кристаллов [2], мембран, мицелл и т. д.; для создания анизотропных ансамблей молекул и биологических систем.

Результаты наших исследований также показали, что анизотропные свойства и хорошее упорядочение молекул природных полимеров дают возможность получения оригинальных высокоупорядоченных композитов с широким спектром практического использования путем включения биополимеров в синтетическую полимерную матрицу. Использование пептидных и углеводных строительных блоков в структуре сополимера позволяет не только улучшать мезоморфное поведение и свойства, но и контролировать упорядоченность структуры и его биологическую функциональность [3].

Полисахариды – целлюлоза и хитин являются структурными аналогами и представляют линейные и довольно жесткие гомополимеры, построенные из  $\beta$ -D-глюкопиранозных и 2-ацетидамо-2-дезоксид- $\beta$ -D-глюкопиранозных единиц соответственно, связанных между собой  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-гликозидными связями.

Высокая механическая прочность целлюлозы и хитина обусловлена образованием супрамолекулярных структур из полидисперсных линейных полимерных цепей, закрепленных межмолекулярными водородными связями. Ограниченная гибкость и большая длина являются предпосылками для образования высоко ориентированных агрегатов макромолекул этих биополимеров, обладающих признаками, характерными для жидкокристаллического состояния и обуславливающих анизотропию их свойств. Однако, супрамолекулярная структура и высокая упорядоченность молекул этих биополимеров приводят к их не растворимости в воде и наиболее распространенных органических растворителях, что осложняет возможность получения на их основе лиотропных жидкокристаллических систем и далее создание новых материалов с широким спектром практического использования.

Методом электрохимического анодирования неорганических материалов был разработан способ создания упорядоченных структурированных поверхностей: наносетчатых пленок алюминия, оксидов  $\text{In}_2\text{O}_3$  и  $\text{SnO}_2$  (ITO), поры которых могут иметь различные диаметр, глубину и поверхностный рельеф [4]. Было установлено, что формирование структурированных пленок на указанных поверхностях с диаметром пор 150–200 нм позволяет получать однородную гомеотропную ориентацию молекул нематических жидких кристаллов. Используя данные плёнки в качестве ориентирующих поверхностей, можно достичь улучшения качества ориентации молекул НЖК, временных и электрооптических параметров жидкокристаллических устройств отображения информации. При этом по сравнению с традиционными методами создания ориентирующих покрытий, электрохимическое анодирование, позволяющее получать различные плёнки с регулярной рельефной поверхностью, является более простым и экономичным методом.

Комбинация анизотропных материалов, плёнок и поверхностей, характеризующихся упорядоченной рельефной структурой, открывает новый подход к разработке и созданию различных высококачественных устройств отображения информации с улучшенными параметрами.

Таким образом, управление процессами самоорганизации является важнейшей задачей на пути к формированию функциональных наноматериалов с заданными физико-химическими свойствами и разработке наноустройств на их основе. Очевидным подходом к контролю структуры самоорганизованных систем является управление градиентными полями, определяющими силы притяжения и отталкивания ее элементов, а также использование анизотропных соединений, которые будут способствовать созданию наведенной анизотропии и организации систем.

Очевидна несомненная роль анизотропной формы, анизотропии свойств, реакционной способности молекул и направленности процессов (реакций) в получении природных веществ, биополимеров в формировании природной среды и живых организмов, в возникновении жизни.

В этой связи возникает необходимость перейти от химии индивидуальных анизотропных молекул к химии анизотропных молекул в континууме, к новому направлению исследований – супрамолекулярной химии анизотропных материалов – **анизотропному материаловедению** и детальному изучению **процессов самоорганизации**.

Предлагаемая нами методология отличается оригинальностью, является креативной и имеет целый ряд отличительных достоинств, в сравнении с известными методами получения аналогичных соедине-

ний и структур, моделирования биологических систем; с успехом может быть использована для разработки новых материалов и устройств с широким спектром практического использования.

### **Список использованных источников**

1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979. 512 с.
2. Bezborodov V.S., Mikhalyonok S.G., Kuz'menok N.M., Lapanik V.I., Sasnouski G.M. Liquid Crystals. v. 42, p.1124-1138, 2015.
3. Peng B.L., Dhar N., Liu H.L., Tam K.C., Can. J. Chem. Eng. vol. 9999, p. 1–16. 2011.
4. V. Bezborodov, V. Zhylynski, A. Chernik, N. Bogomazova, I. Zharski, A. Smirnov, A. Stsiapanau, V. Lapanik, S. Mikhalyonok. International Symposium. Digest of technical papers. Eurodisplay 2015. Ghent, Belgium. P. 26, p. 93 (2015).

УДК 621.643:620.19

**А.Р. Билалов**

Тюменский индустриальный университет

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ**

Методология оценивания механохимической повреждаемости сопротивления коррозионно-механическому разрушению металла (экспериментальным путем) при двухосном растяжении с помощью испытания образцов трубчатого сечения обладает недостатками. Данные недостатки связаны со сложностью создания образцов, а также организации непосредственного проведения опытов. Более простым для реализации способом создания двухосного напряженного состояния в металле [1] – является изгиб круглой пластинки усилием  $q$ , с распределением по окружности заданного радиуса  $r_1$ .

Центральная область пластины, ограниченная радиусом  $r_2$ , имеет следующие тангенциальные  $\sigma_1$  и радиальные  $\sigma_2$  напряжения, равные между собой ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ ), которые определяются по следующей формуле:

$$\sigma = \varphi_1 (3q / 4\pi\delta^2), \quad (1)$$

где  $q$  – распределенная нагрузка;  $\delta$  – толщина круглой пластинки;

Параметр  $\varphi_i$  зависит от параметра  $\mu$  и отношения  $m_r = r_2/r_1$ :

$$\varphi_1 = (1 - \mu)(1 - \mu_r^2) - 2(1 + \mu) \ln m_r, \quad (2)$$

Смещение (прогиб)  $f$  в центральной части образца и усилие изгиба  $q$  коррелируют следующим образом согласно формуле:

$$f = 3 \varphi_2 q r_1^2 (1 - \mu^2) / 4\pi E \delta^3 \quad (3)$$

Параметр  $\varphi_2$  можно определить по следующей формуле:

$$\varphi_2 = (3 + \mu) (1 - \mu^2) / (1 + \mu) + 2 m_r^2 \ln m_r, \quad (4)$$

В связи с этим, актуальность приобретает задача определения закономерностей изменения напряжений и скорости коррозии в ходе испытаний круглых пластинок, которые подвержены негативному влиянию коррозионно-активных сред. Задача приобретает наиболее простое решение в том случае, если в образце возникает действующее напряжение, равное соотношению  $\sigma = \sigma_0$ .

Таким образом отметим, что при  $\varepsilon_i = 0$  получается следующее уравнение для расчета  $K_{\text{МХП}}$ :

$$K_{\text{МХП}} = 1 + 0,002 \sigma_0 \quad (5)$$

Таким образом, коэффициент механохимической повреждаемости  $K_{\text{МХП}}$  представляет из себя соотношение между долговечностью ненапряженного элемента-образца и к долговечностью напряженного элемента-образца.

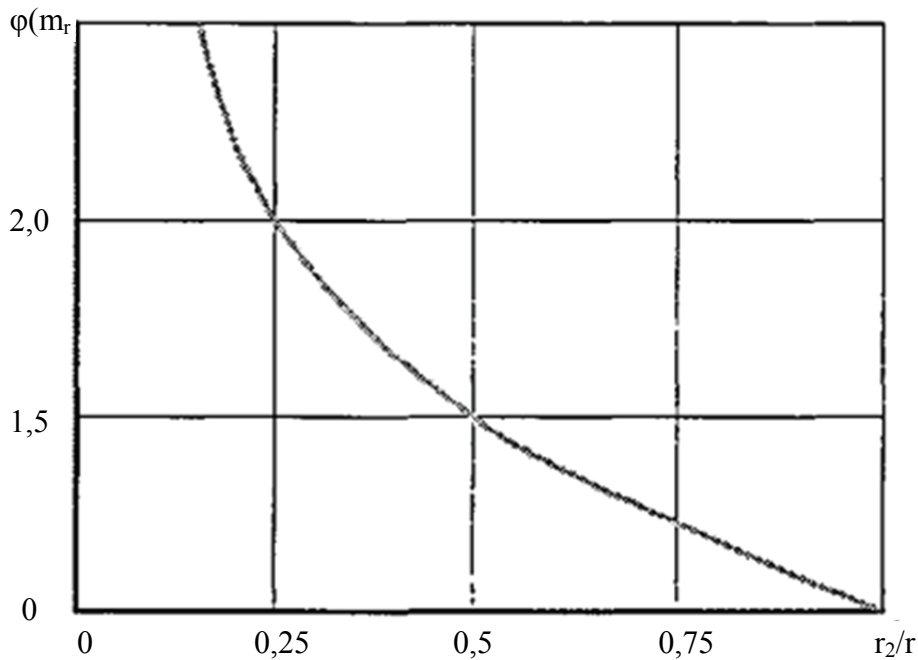


Рис. 1 – Зависимость изменение параметра  $\varphi(m_r)$



Рассмотренный в работе случай имел место при относительно небольших сроках проведения испытаний круглых пластинок, а также в условиях постоянного смещения  $f_0 = \text{const}$ .

Испытание круглых пластин постоянным усилением  $q = q_0 = \text{const}$  является наиболее сложным и действительно отражающим работу несущих конструктивных составляющих трубопроводов.

При испытаниях  $d\delta/dt$  абсолютная скорость утонения испытуемого образца равна скорости механохимической повреждаемости металла  $v$ . К примеру, такая ситуация характерна для упругих деформаций.

$$d\delta/dt = -v_0 (1 + k_\sigma(t)) \quad (6)$$

Таким образом, на основании предложенного кинетического уравнения механохимической повреждаемости металлов выполнен анализ с равными компонентами напряжений при различных схемах нагружения.

Выполненный анализ кинетики изменения напряжений при испытаниях круглых пластин осуществлен при этом в условиях плоскостного напряженного-деформированного состояния.

В ходе исследования установлена возможность прогнозирования степени повреждений металлов и долговечности образцов при заданных режимах нагружения и величин напряженности в начале испытаний.

Важным дополнением является то, что испытания круглых пластин при двухосном изгибе позволят выявить особенности механохимической повреждаемости конструктивных составляющих, функционирующих в условиях двухосного напряженно-деформированного состояния.

С другой стороны, большая часть конструктивных элементов работает в условиях двухосного напряженно-деформированного состояния, вызываемого растягивающими усилиями, а не изгибающими. В связи с этим, практический интерес представляет анализ кинетики механохимической повреждаемости металла в следующих условиях: когда напряжение в образцах создается растягивающими нагрузками. К примеру, в стандартных круглых образцах на растяжение, которые предназначены для определения механических характеристик сталей.

#### **Список использованных источников**

1. Абдуллин, И. Г. Коррозионно-механическая стойкость нефтегазопроводных систем / И. Г. Абдуллин, А. Г. Гареев, А. В. Мостовой. – Уфа: Гилем, 1997. – 220 с.

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ БИОЗАЩИТА ЭКСПОРТНОЙ ПИЛОПРОДУКЦИИ

С увеличением экспорта биозащита пиломатериалов становится наиболее актуальной. Возникают определенные трудности транспортировки пилопродукции, так как древесина материал природного происхождения. Она подвержена поражениям различными видами микроорганизмов. Известны способы защиты, которые предотвращают развитие поражений, такие как сушка до транспортной влажности, а также пропитка антисептиками. В работе изучены основные транспортные антисептики.

Древесина естественной влажности (в среднем от 35 до 80%) подвержена поражению различными видами грибов. Такая древесина, уложенная в плотные пакеты, особенно в весенний, летний и осенний период года, может прийти в негодность в течение нескольких дней, что делает невозможным не то что использование, но даже транспортировку древесины естественной влажности на большие расстояния [1, 2, 3]. Соответственно, сортность пилопродукции снижается, что ведет к значительным финансовым потерям. Процент брака по результатам промышленных замеров в среднем составляет от 1,5 до 6%. При производственной мощности 20 000 м<sup>3</sup>/мес. процент брака из-за синевы может достигать до 1000 м<sup>3</sup>. Если перевести эти цифры в денежные единицы, то получится более 400 000 BYN финансовых потерь. На рис. 1 представлены различные степени поражения пилопродукции.



Рис. 1 – Различная степень поражения пилопродукции

На сегодняшний день наибольшее распространение получили два метода биозащиты пиломатериалов, которые позволяют экспортировать древесину на длительные расстояния. Древесину камерной сушки

получают влажностью от 16 до 18% в зависимости от ее назначения. Сушка производится в соответствии с ГОСТ 19773–84 и рекомендациями производителей современных сушильных камер. Длительное воздействие высоких температур в процессе сушки снижает влажность древесины, а также уничтожает находящиеся в ней микроорганизмы и насекомых. Древесина, высушенная в сушильной камере с соблюдением установленных требований, не подвергается процессу гниения при эксплуатации в сухой среде. При данном методе основной сложностью является получение качественных требуемых показателей сушки, в том числе остаточных внутренних напряжений и трещин. Эти параметры зависят от используемого оборудования и принятых режимов сушки в зависимости от вида пиломатериалов.

Сушка пилопродукции очень дорогостоящий технологический процесс. Производственные мощности иногда не позволяют сушить всю напиленную древесину. Поэтому существует промышленный способ защиты – пропитка методом окунания. Этот процесс также имеет свои достоинства и недостатки. Пропитка обладает меньшими денежными затратами. Однако она не всегда эффективна, особенно при отправке пилопродукции на большие расстояния, например, морским транспортом в Китай. Так как пиломатериал пересекает экватор, подвержен перепадам температуры и влажности, проблема защиты древесины, а именно пропитки методом окунания, требует дальнейших исследований [4, 5].

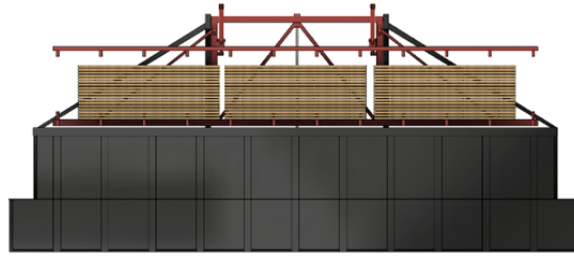
В процессе патентного анализа, а также изучения рынка были определены наиболее известные биозащитные средства как зарубежного, так и отечественного производств. Среди импортных наибольшее распространение получили:

- *Antiblu Select*, производитель – Arch Timber Protection;
- *Sinesto B*, производитель – BASF Wolman.

Из белорусских можно выделить антисептик *Белмастер Эко-транс* (производитель ООО «Сталькон групп»), *Ларитех экосепт* (ООО «ДиДиЕгрупп») и др.

В промышленных масштабах для защиты древесины биозащитными средствами применяют пропиточные ванны. Пример установки для окунания представлены на рис. 2.

Для проведения сравнительной оценки биозащитной эффективности пропиточных составов были проведены исследования биостойкости наиболее распространенных транспортных антисептиков, указанных выше. Для испытаний были взяты девять наиболее известных защитных средств с различным компонентным составом.



**Рис. 2 – Установка для пропитки методом окунания**

Испытания проводились на образцах из древесины размерами  $10 \times 55 \times 75$  мм (последний размер – по длине волокон). Образцы изготавливали из прямослойной свежераспиленной древесины заболони сосны с плотностью в воздушно-сухом состоянии  $0,48 - 0,52$  г/см<sup>3</sup>. Древесина не имела видимых пороков. В образце на 1 см по радиусу было по 5–7 годичных слоев, параллельных широкой пласти. Влажность образцов перед испытанием была не менее 100%. Испытание каждой концентрации защитного средства проводилось на 18 пропитанных образцах. Образцы древесины пропитывались не позднее чем через 24 ч после изготовления, перед пропиткой нумеровали, затем взвешивали с точностью до 0,02 г.

Для каждого испытания готовили три эксикатора. В эксикаторы засыпали на 1/4 высоты предварительно увлажненные до  $(70 \pm 5)\%$  опилки из здоровой заболони сосны. Опилки орошались рабочей суспензией грибов при помощи пульверизатора. В каждый эксикатор вносились суспензия грибов определенной группы. Эксикаторы находились в помещении с температурой  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажностью воздуха  $(80 \pm 5)\%$  в течение 14 дней до начала испытаний.

Для каждого варианта опыта испытывали 18 образцов: по 6 шт. на каждой из трех групп грибов. В каждый эксикатор устанавливали 6 образцов защищенных защитным средством одной концентрации. Продолжительность испытания составляла 15 суток. Состояние образцов оценивалось визуально через 5, 10 и 15 сут.

При текущей оценке состояния образцов учитывалась (в процентах) средняя площадь поражения грибами их поверхностей. По окончании испытания дополнительно оценивали стадию развития грибов (в баллах).

Результаты исследований по ГОСТ 30028.4 – 2006 представлены в таблице 1. Как видим, большинство испытываемых антисептиков обеспечивают полную биозащиту древесины, но на некоторых образцах был обнаружен незначительный рост грибов, что свидетельствует о начале биопоражения. Полученные данные показывают об ограни-

ченности ГОСТ 30028.4 – 2006 для проведения объективной оценки биозащитной эффективности транспортных антисептиков. Для более достоверной информации требуется увеличение продолжительности испытаний до реального времени транспортировки, поскольку контейнер с пиломатериалами может находиться в пути и более месяца. Также не учитывается температурный фактор (например, при пересечении экватора температура может достигать до 40°C и выше) и его влияние на устойчивость защитных средств. Поэтому для корректной оценки эффективности транспортных защитных средств предлагается увеличить продолжительность испытаний до 3 месяцев с искусственной имитацией температурных полей, отражающих наиболее рискованные с точки зрения поражения грибами логистические маршруты пилопродукции. Предлагаемая методика позволит устранить имеющиеся недочеты в действующем стандарте, но требует дальнейшей апробации и изучения.

**Таблица 1 – Результаты определения эффективности защитных средств для древесины по отношению к плесневым и деревоокрашивающим грибам**

№ образца	Наименование антисептика	Концентрация, %	Среднее поглощение раствора, г/м <sup>2</sup>	Средняя площадь поражения поверхности образцов грибами, % по истечении									
				5 суток в группе грибов			10 суток в группе грибов			15 суток в группе грибов			
				A	B	C	A	B	C	A	B	C	
1	Antiblu Select	2,0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Antiblu Select 3787	(1,1:1,4)%	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Sinesto B	3,0	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Medera 10 Concentrate	2,0	148	0	0	1	0	0	3	0	3	4	
5	Dali	Готовый продукт	142	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
6	Goldbastik bb19	3,0	157	0	0	0	0	3	1	1	4	2	
7	Белмастер Экотранс	3,0	114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	Ларитех экосепт	Готовый продукт	165	0	0	0	1	2	2	3	4	3	
9	Опытный образец БГТУ	Готовый продукт	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Поражение пиломатериалов деревоокрашивающими и плесневыми грибами является существенной проблемой для деревообрабатывающих предприятий.

Защита древесины методом окунания требует тщательного отбора антисептиков для пропитки и соблюдения технологии их нанесения. В результате проведенных исследований установлено, что стандартный метод определения эффективности защиты транспортными антисептиками не позволяет получить объективные данные. Поэтому предлагается проводить испытания с учетом продолжительности транспортировки пилопродукции и климатических условий.

### **Список использованных источников**

1. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.
2. Горшин С. Н. Консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1977. 355 с.
3. Леонович О. К., Антоник А. Ю. Определение преобладающих культур дереворазрушающих и деревоокрашивающих грибов, их воздействие на древесину // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 299–304.
4. Божелко И. К. Корректировка рецептуры защитных средств в процессе пропитки древесины // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 162–166.
5. Бовтрель А. Ю., Божелко И. К. Биовлагозащитная обработка древесины и деревянных строительных конструкций // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 227–231.

УДК 678.046:678.4-139

**С.И. Вольфсон, А.Д. Хасанова, А.Д. Хусаинов, А. С. Егоров,  
А.И. Газизуллин, И.Н. Сайфуллин, Н.П. Борейко**

Казанский национальный исследовательский технологический университет

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ВУЛКАНИЗАТОВ**

Структура термоэластопластов (ТЭП) состоит из двух микроскопических фаз, одна из которых обладает низким модулем и легко деформируется, а вторая более жесткая, вследствие чего, она выступает

в роли связей между упруго-эластичными зонами. Подобные свойства обуславливают такие механические характеристики ТЭП, при которых появляется возможность изменения этих характеристик таким образом, что упруго-эластичный полимер обретает свойства полимерной жидкости. Жесткая фаза обуславливает возможность полимера переходить в вязкотекучее состояние, что позволяет осуществлять переработку в результате нагрева выше температуры плавления [1]. Термопластичные вулканизаты (ТПВ) представляют собой особый класс ТПЭ, полученных путем динамической вулканизации в присутствии вулканизирующих систем. Динамическая вулканизация была впервые описана Гесслером, а затем разработана Фишером, Кораном и Пателем, а также Абду-Сабетом и Майклом. Во время динамической вулканизации каучуковая фаза вулканизируется и тонко диспергируется в непрерывной матрице термопласта под усилиями сдвига, и полученные материалы демонстрируют высокие физико-механические свойства и могут многократно перерабатываться и повторно использоваться.

Наибольшее распространение получили ТПВ, производимые на основе смеси полиэтилена или полипропилена с олефиновыми или диеновыми каучуками, бутилкаучуком и этиленпропилендиеновыми каучуками. Однако такие ТПВ имеют низкую стойкость к углеводородам и продуктам нефтепереработки, что в значительной степени сужает их применение. Проблему низкой маслобензостойкости можно решить заменой неполярного каучука, входящего в их состав – на полярный. Благодаря своей доступности и хорошей стойкости к неполярным жидким углеводородам для этих целей подходит такой полярный полимер, как бутадиен-нитрильный каучук.

Поскольку кроме каучука значительное влияние на ТПВ оказывает и выбор пластика, была необходимость оценить свойства ТПВ, полученных с использованием АБС-пластика. В связи с тем, что АБС-пластик обладает высокими деформационно-прочностными характеристиками и стойкостью к смазочным материалам, продуктам нефтепереработки, растворам неорганических солей и кислот, щелочи, было решено, что изготовление деталей из ТПВ с использованием АБС-пластика является наиболее актуальной задачей [2, 3].

Значительное влияние на ТПВ оказывает выбор наполнителя: для получения маслобензостойких ТПВ использование таких широко известных наполнителей как технический углерод, диоксид кремния, белая сажа оказывает отрицательное воздействие на физико-механические параметры термопластичных вулканизатов (ТПВ). В связи с этим в данной работе были проведены исследование влия-



ния упруго-прочностных свойств ТПВ с использованием различных модифицированных углеродных наполнителей (образцы модифицированных углеродных наполнителей были предоставлены ООО «ПКФ Альянс»). Они представляют собой фторированные углеродные наполнители с разной степенью дисперсности: наполнитель 1 – фторированный углерод в его составе есть фуллерены  $C_{60}$ ,  $C_{70}$  в количестве не более 0,1% масс; наполнитель 2 – фторированный углерод размер частиц данного образца намного меньше в сравнении с наполнителем 1; наполнитель 3 – размер частиц данного образца соответствует размеру частиц наполнителя 1, а в остальном является аналогом наполнителя 2. Содержание наполнителей варьировалось от 1,0 до 7,0 масс. ч. на 100 масс. ч. каучука.

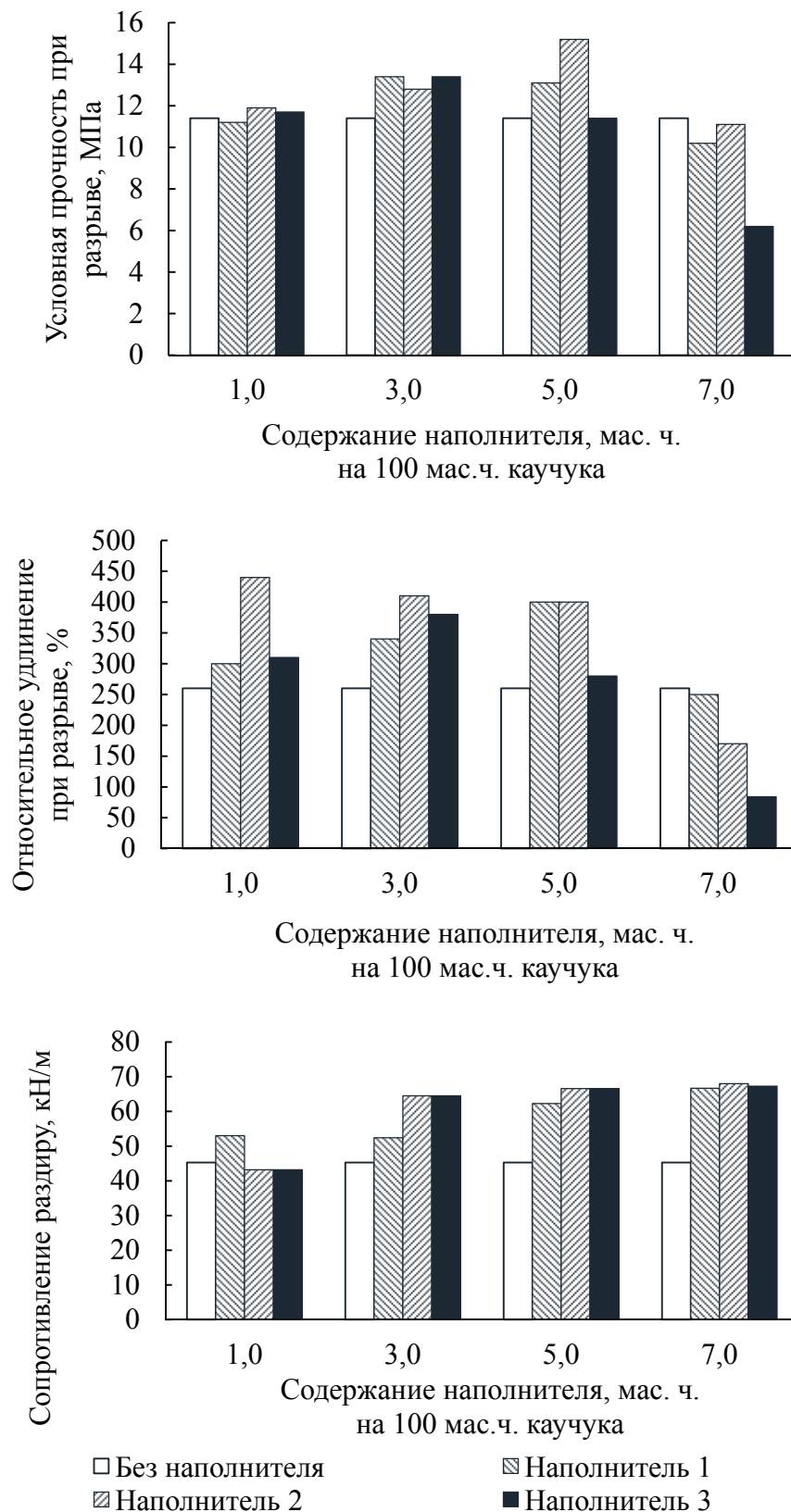
Таким образом, целью данной работы являлось исследование влияния модифицированных углеродных наполнителей на физико-механические свойства ТПВ полученных на основе смеси бутадиен-нитрильного каучука и АБС-пластика.

Поскольку термопластичные вулканизаты состоят из двух фаз: термопластичной и эластомерной, на первой стадии готовились резиновые смеси на основе бутадиен-нитрильного каучука (БНКС-28 АМН), защитных добавок, вулканизирующей системы и наполнителей, которые на второй стадии смешивались с АБС пластиком. Далее полученные материалы подвергались экструзии с использованием целевой головки для получения лент толщиной в 1,5-2,0 мм, из которых вырубались образцы для проведения физико-механических испытаний.

Исследования на физико-механические характеристики ТПВ полученных на основе смеси каучука БНКС-28 и АБС – пластика (условная прочность при разрыве, относительное удлинение при разрыве, сопротивление раздиру) с использованием и без использования наполнителей проводились в соответствии с ТУ 2294-021-48158319-2001 [4].

Результаты испытаний физико-механических свойств полученных ТПВ представлены на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1 добавление модифицированных углеродных наполнителей до 5 мас. ч. приводит к увеличению упруго-прочностных показателей, по сравнению с образцами без использования наполнителя. Если сравнивать представленные наполнители между собой то, можно сделать вывод, что самые высокие упруго-прочностные показатели у ТПВ с использованием наполнителя 2, что скорее всего связано с тем, что данный наполнитель имеет самый маленький размер частиц, что в свою очередь, обеспечивает ему лучшее распределение по всей массе полимерной композиции.



**Рис. 1 – Физико-механические показатели ТПВ на основе бутадиен-нитрильного каучука и АБС-пластика с использованием и без использования наполнителей**

Таким образом использование модифицированного углеродного фторированного наполнителя с мелкодисперсной структурой проявляет более оптимальный уровень общих показателей упругопрочностных свойств при содержании до 5 мас. частей.

#### **Список использованных источников**

1. Вольфсон С.И. Динамически вулканизованные термоэластопласты / С.И. Вольфсон. – М.: Наука, 2004. – 173 с.
2. Термоэластопласты. Под ред. Моисеева В.В., М.: Химия, 1979. – 440 с.
3. Получение и свойства динамически вулканизованных термоэластопластичных материалов: учебное пособие / С.И. Вольфсон, Н.А. Охотина, А.И. Нигматуллина. – Казань: Изд-во Казан. нац. исслед. технол. ун-та, 2012. – 82 с.
4. Охотина, Н.А. Основные методы физико-механических испытаний эластомеров : учеб. пособие / Н. А. Охотина, А. Д. Хусаинов, Л. Ю. Закирова. – Казань : Казанский гос. технологический ун-т, 2006. – 155с.

УДК 621.3.038.6

**Т.В. Галковский, Н.В. Богомазова, И.М. Жарский**  
Белорусский государственный технологический университет  
**Л.И. Кукло, В.П. Толстой**  
Санкт-Петербургский государственный университет

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА SILD ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

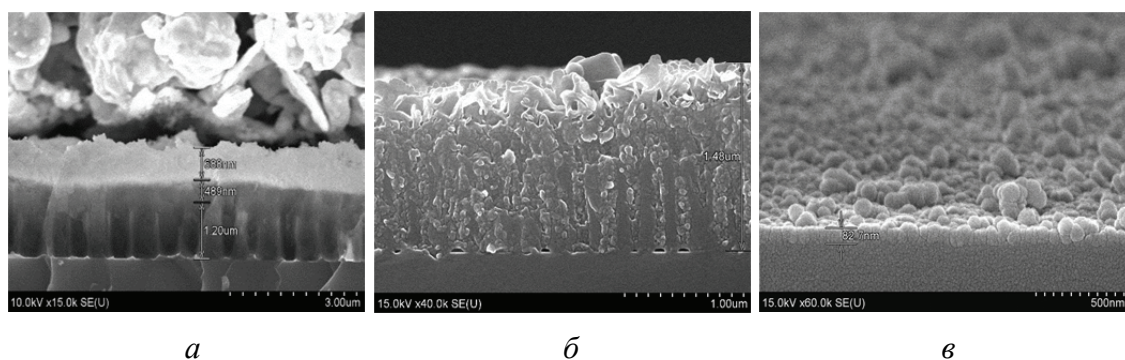
Развитие технологии производства наноэлектронных устройств сопряжено с разработкой ресурсосберегающих, экологичных, доступных методов формирования наноэлементов функциональных структур актуальных приборов, например химических сенсоров, солнечных элементов, фотодиодов. Возможным вариантом такой технологии является метод SILD (Successive ionic layer deposition), который позволяет послойно формировать структурные элементы различной мерности с заданными электрофизическими свойствами при использовании несложного оборудования, а также разбавленных жидкофазных прекурсоров [1].

В рамках наших экспериментов проведены исследования процессов формирования планарных пленок и гетероструктур, а также мат-

рично-пленочных структур на основе функциональных полупроводниковых материалов в виде оксидов Sn, W, а также сульфидов или оксосульфидов Sn, Zn, Cd. Планарные структуры формировались на стеклопластинах, покрытых слоем ИТО (оксид индия-олова). Матрично-пленочные структуры формировались на кремниевых подложках, включающих поверхностный матричный слой пористого анодного оксида алюминия высотой 0,5–1 мкм.

Структуры формировались на поверхности предварительно подготовленных соответствующих подложек при их циклической обработке в растворах катионных прекурсоров, включая  $\text{SnF}_2$ ,  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{CdSO}_4$ , и анионных рекурсоров, включая  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , при концентрации 0,01–0,1 моль/л. Количество циклов обработки варьировалось от 5 до 60. Зафиксирован различный характер формирования слоев, включая послойный рост на планарных подложках (рисунок 1, а), а также зарастивание матричных пор (рис.1, б) или поверхностный планарный рост на профилированных матричных подложках (рисунок 1, в).

Предложена модель наслаивания по механизму превентивного коллоидного наслаивания оловосодержащих частиц в катионном прекурсор  $\text{SnF}_2$  и ионного наслаивания вольфрамсодержащих частиц в анионном прекурсор  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  или  $(\text{NH}_4)_2\text{O} \cdot \text{WO}_3$ , что обеспечивает получение микро- или наноразмерных слоев с преобладанием олова.



**Рис. 1 – Электронно-микроскопические изображения матрично-пленочных структур  $\text{SnS}_x/\text{ITO}/\text{стеклопластина}$  (а),  $\text{Sn}_x\text{W}_y\text{O}_z/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$  (б),  $\text{ZnS}/\text{SnS}_x/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$  (в)**

Сформированные структуры  $\text{Sn}_x\text{WO}_y \cdot n\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$  и  $\text{Sn}_x\text{WO}_y \cdot n\text{H}_2\text{O}/\text{Si}$  проявили стабильные полупроводниковые свойства, характеризующиеся высокоомностью и невысоким температурным коэффициентом электросопротивления на уровне  $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , что благоприятно для уменьшения влияния термодрейфа на хемосорбционные свойства полученных структур.

Исследование хемочувствительных свойств матрично-пленочных структур  $\text{Sn}_x\text{WO}_y \cdot n\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$  показало, что величины зафиксированных откликов позволяют реализовать надежное обнаружение паров аммиака и ацетона в воздушной среде при пониженных температурах детектирования на уровне  $150^\circ\text{C}$ .

Таким образом, показано, что использование методики наслаивания из растворов-прекурсоров позволяет формировать как планарные пленочные структуры, например,  $\text{SnS}_x/\text{ITO}/\text{стеклопластина}$ , так и матрично-пленочные структуры, например,  $\text{Sn}_x\text{WO}_y \cdot n\text{H}_2\text{O}/\text{Si}$  и  $\text{Sn}_x\text{WO}_y \cdot n\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$  с толщиной функционального слоя от 50 нм до 30 мкм при увеличении количества циклов наслаивания от 10 до 60. Перспективность полученных структур связана, как с использованием доступной химической технологии наслаивания, так и с увеличением энергоэффективности, а также срока службы приборов, например, химических сенсоров газов.

#### **Список использованных источников**

1. Pathan H.M., Lokhande C. Deposition of metal chalcogenide thin films by successive ionic layer adsorption and Reaction (SILAR) Method // Bulletin of Materials Science. 2004. Vol. 27. P. 85–111.

2. Толстой В.П. Синтез тонкослойных структур методом ионного наслаивания // Журн. неорг. химии. 2013. Т. 40. С. 240–245.

УДК 669-408.6

**А.А. Глухих**

Тюменский индустриальный университет

#### **К ВОПРОСУ О ПРИНЦИПАХ РАБОТЫ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ**

На сегодняшний момент времени одним из важных направлений развития высокотехнологичного производства является разработка новых конструкционных материалов, которые могли бы обеспечить большой запас прочности и надежности технологических объектов.

Научные исследования, которые проводились последние двадцать лет различными учеными показывают широкие возможности применения материалов, которые обладают элементами «интеллектуальности», а также возможностью обратимого изменения формы, другими словами, так называемые сплавы с эффектом памяти формы (ЭПФ).

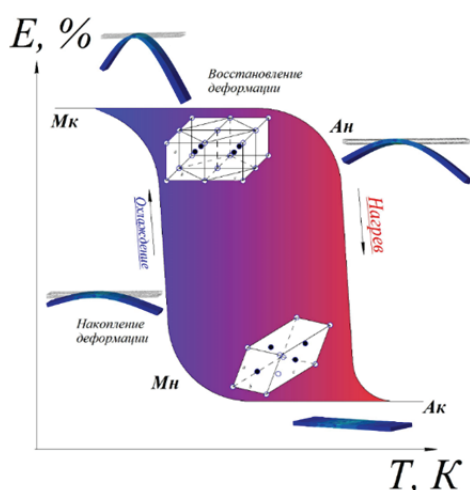
Такие сплавы характеризуются хорошими механическими свойствами, обладают повышенной демпфирующей способностью, имеют нестандартные эксплуатационные свойства, которые используются для повышения эффективности эксплуатации различных изделий, в том числе в нефтегазовом комплексе.

Исследования в данной отрасли начались с 1949 г., когда советские металлурги в Г. В. Курдюмов и Л. Г. Хандорсон обнаружили сплав, способный восстанавливать исходную форму после значительной пластической деформации при его нагреве до определенной температуры. Это явление признали открытием в металлургии и назвали как эффектом Курдюмова (эффект памяти формы).

Затем эффект памяти формы был экспериментально подтвержден в 1951 г. учеными Л. Чангом и Т. Ридом при исследовании сплава Au-Cd.

Особые свойства Нитинола обуславливаются термоупругой природой происходящих в нем кристаллических превращений. Нитинол может переходить из высокотемпературной кристаллической структуры в низкотемпературную при охлаждении и в обратном порядке – при нагревании.

На рисунке 1 схематично представлен эффект работы сплава с памятью формы. На схеме можно видеть зоны, где присутствуют кристаллические структуры мартенсита и аустенита, а также отображены этапы накопления сплавом с ЭПФ деформации во время охлаждения и последующее ее исчезновение в результате нагрева в ненагруженном состоянии, чему предшествовало предварительное термоциклирование под нагрузкой при переходе сплава через интервал температурных переходов  $M_k$ – $A_k$ .

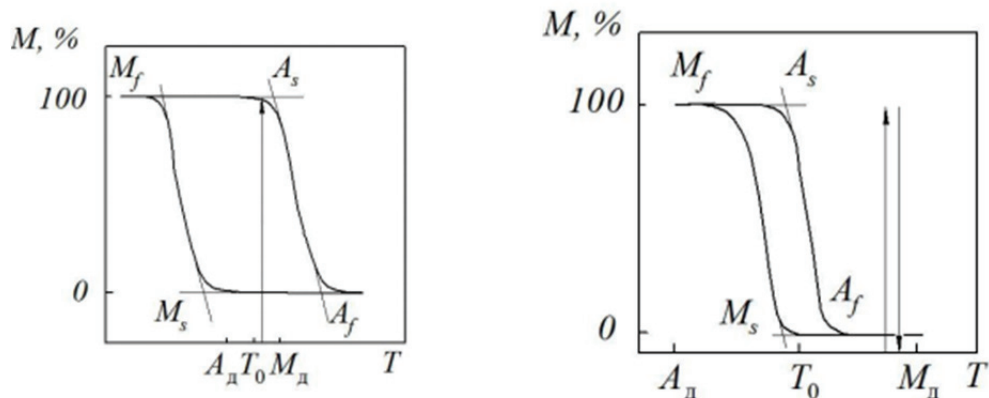


**Рис. 1 – Схематичное изображение работы элемента из сплава с памятью формы**

$M_n, M_k$  – температуры начала и конца мартенситного превращения;

$A_n, A_k$  – температуры начала и конца аустенитного превращения

В основе эффекта памяти формы большинство сплавов имеют термоупругие мартенситные превращения (ТУМП) [1]. Для материалов с ТУМП характерно наличие зависимости фазового состава сплава от температуры. Данную зависимость можно видеть на рисунке 2.



*a* – график широкого гистерезиса

*б* – график узкого гистерезиса

**Рис. 2 – График зависимости фазового состава сплава от его температуры**

Данные графики можно прокомментировать так. В интервале температур ( $M_n - M_k$ ) начинается зарождение и последующий рост кристаллов мартенсита (это так называемое прямое превращение), а в интервале температур ( $A_n - A_k$ ) происходит их исчезновение в обратной последовательности (они переходят в аустенит), поэтому такое превращение называют «обратным».

Во время реализации процесса обратного превращения происходит перестроение кристаллической решетки сплава по принципу, который можно охарактеризовать формулировкой «точно назад» [2]. Во время такого превращения наблюдается исчезновение локальных сдвиговых деформаций кристаллической решетки, что влечет за собой исчезновение макроскопической трансформации формы решетки. Проявление такого поведения материала, которое видно невооруженным взглядом, и называют эффектом памяти формы.

Следует отметить, что на графиках (рис. 2) присутствует еще три температуры, характеризующие поведение сплава с ЭПФ, это:  $T_0$ ,  $M_d$ ,  $A_d$ ,  $T_0$  – температура, соответствующая термодинамическому равновесию системы, когда превращение не возникает, вследствие отсутствия переохлаждения сплава до критической температуры, при которой свободная химическая энергия начальной фазы равна энергии мартенситной фазы. Точки расположения данных температур на графике, относительно основных температур ( $T_0$ ,  $M_d$ ,  $A_d$ ) являются важным

фактором в процессе формирования кристаллов с упругопластическими свойствами.

В заключении необходимо отметить, что если охлаждение сплава проходит под определенной механической нагрузкой, то в нем будет происходить избирательное зарождение кристаллов мартенсита. В этом случае преимущество получают те кристаллы, которые образуют деформирование в направлении приложенной механической нагрузки. Следствием чего является приобретение сплавом (изделием) макроскопической деформации, которая вызвана отсутствием упругости у мартенситной структуры. Описанное явление называют пластичностью прямого превращения (ППП). То есть, если сплав приобретает неупругую деформацию в процессе изотермического нагружения мартенситной структуры, то при его нагреве в интервале температур от  $A_n$  до  $A_k$  сплав возвращает себе прежнюю форму (эффект памяти формы).

#### **Список использованных источников**

1. Андронов, И. Н. Эффекты обратимого формоизменения никелида титана при термоциклировании / И. Н. Андронов, С. К. Овчинников // Деформация и разрушение материалов. – 2005. – № 5. – С. 28–30.

2. Беляев, С. П. Обратимый эффект памяти формы после термоциклической обработки под напряжением / С.П. Беляев // Вестн. ЛГУ – Л, 1985. – 37с.

УДК 630\*432.1

**М. А. Гнусов**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

### **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НАПРАВЛЕННОГО ПОТОКА ГРУНТА ЛЕСОПОЖАРНОГО ПОЛОСОПРОКЛАДЫВАТЕЛЯ С КОМБИНИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ**

В связи с участвовавшими случаями возникновения пожаров и развитием пожарной активности в лесном хозяйстве, активно проводятся мероприятия и процедуры по высеванию и высаживанию новых лесных насаждений в местах, где произошли стихийные бедствия, а также на вырубках и т.д. Одной из актуальных задач во время пожароопасных режимов является проведение подновления или создание



новых противопожарных минерализованных полос для профилактики и предотвращения пожаров. На сегодняшний день разработано большое количество методов для предотвращения возникновения и локализации пожаров, в частности, один из используемых методов состоит в разделении на сектора лесопосадок в качестве барьерной полосы, препятствующей увеличению площади зоны горения лесных насаждений. Создание минерализованных полос позволяет выиграть время распространения огня и тем самым предоставить пожарным бригадам возможность для локализации источника в каждом отдельном блоке [1].

Для создания минерализованных полос в настоящее время применяются разнообразные технические средства с пассивными рабочими органами и активными рабочими органами, мы предлагаем создания и обновления высококачественных минерализованных полос создавать с использованием агрегат с комбинированными рабочими органами. Полосопрокладыватель объединяет несколько процессов обработки почвы: процесс предварительной обработки почвы сферическими дисками и ее последующего выброса в заданном направлении с помощью фрезерных рабочих органов. Чтобы определить способ и ширину создания минерализованной полосы, необходимо учитывать характер и интенсивность пожара, почвенные условия и условия выращивания леса, наличие необходимых машин и инструментов [2]. В частности, от вида пожара создание минерализованной полосы может варьироваться по ширине от 0,4 до 1,4 м, а в хвойных лесных насаждениях на сухих почвах создаются две минерализованные полосы 5 ... 10 м одна от другой, а в условиях лесостепи от 10 до 15 м. На торфяных почвах разрыхленный слой торфа улучшает горение, поэтому не рекомендуется укладывать минерализованную полосу. В планах противопожарного устройства лесов создание минерализованной полосы предусматривается в профилактических целях – для ограничения распространения и создания условий тушения возможных лесных пожаров [3]. На современном этапе развития науки и техники одним из основных этапов разработки наукоемкой продукции является моделирование сложных систем или процессов для технических средств, состоящих из множества составных элементов.

В создаваемых моделях множество составных элементов находятся в контактном взаимодействии, а также в сложном движении с внешней средой и друг с другом этот процесс осуществляется по принципу разработки аналитических и математических моделей (например, в виде составления и решения уравнений Лагранжа второго рода, уравнений частных производных и т. д.). Для упрощения ма-

тематической модели вводится ряд допущений и ограничений, в результате чего уровень ее адекватности крайне низок.

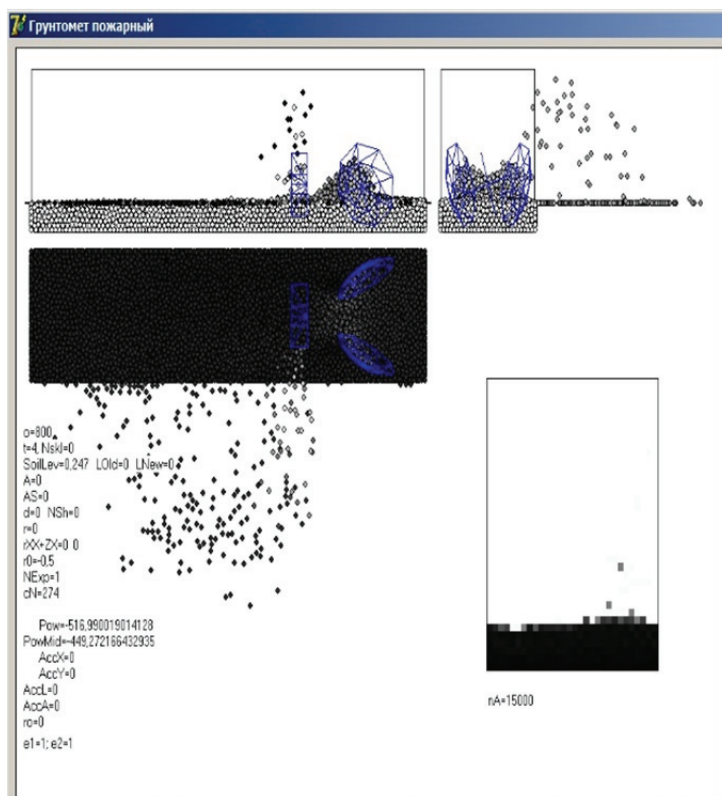
Разработка высоко детализированной имитационной модели процесса, которая построена на основе современных математических методов, ориентированных на использование высокопроизводительной вычислительной техники. В частности, использован метод для моделирования грунта и воздушной среды, в рамках которого моделируемая среда состоит из множества (от 10 000 – до 100 000) отдельных сферических элементов, взаимодействующих между собой, и движущихся по законам классической механики и аэродинамики. Для описания функционирования лесного полосопрокладывателя с комбинированными рабочими органами необходима имитационная модель, так что бы теоретическое исследование процесса полностью могло описать происходящие явления: взаимодействие частиц грунта друг с другом, взаимосвязь рабочих плоскостей машины с грунтом и движением комбинированных рабочих органов машины.

Лесная почва является сложным объектом для моделирования из-за большого количества физико-математических параметров (рельефа поверхности, плотности и типа почвы, ее твердости, влажности) и типологического разнообразия поверхностей [4]. В то же время резание грунта и его последующее выбрасывание является основой принципа работы машины для прокладывания минерализованных полос, и поэтому модель разрабатываемой среды, в частности почвы, должна быть как можно ближе к описанию фактического процесса. Для моделирования грунта используется метод конечных элементов [5]. В разработанной модификации программы рабочая среда (почва) была представлена в виде комбинации огромного количества малогабаритных элементов сферической формы, таким образом, в модели созданные элементы окружающей среды могли взаимодействовать с рабочими поверхностями машины (с дисками и роторами), а также друг с другом.

Создание минерализованной полосы в разработанной нами программе для моделирования представлено на рисунке 1. Процесс создания минерализованных полос за счет комбинирования процесса метания грунта специальными фрезами-метателями и предварительной обработки почвы сферическими дисковыми рабочими органами.

С геометрической точки зрения взаимодействие рабочей поверхности с грунтом является задачей нахождения расстояния от определенной поверхности до сферической поверхности произвольного элемента почвы. Рабочие поверхности каждого ротора состояли из 8 треугольников, а поверхность каждого диска состояла из 24 треугольников.

В частности, полосопрокладыватель с комбинированными рабочими элементами в модели с определенной степенью проникновения был разделен на 64 элементарных треугольника. В процессе работы программа непрерывно отображает три проекции работающей машины: профиль оставляемой борозды, числовые значения показателей качества работы машины и потребляемой мощности.



**Рис. 1 – Представление в модели рабочих поверхностей лесной грунтометательной машины как совокупности элементарных треугольников (показаны три проекции)**

Таким образом, нами разработана имитационная модель направленного потока грунта, построенная на основе современных математических методов, ориентированных на использование высокопроизводительной вычислительной техники, которая позволяет обосновать и оптимизировать параметры комбинированных рабочих органов и режимы работы лесопожарного полосопрокладывателя для профилактики и тушения низовых лесных пожаров.

### **Список использованных источников**

1. Бартенев, И. М. К вопросу о тушении лесных пожаров грунтом [Текст] / И. М. Бартенев, Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов // Лесотехнический журнал. – 2012. – № 4 (8). – С. 97–101.

2. Гончаров П.Э. Лесопатрульный автомобиль на базе тяжёлого грузового автомобиля повышенной проходимости [Текст] / П. Э. Гончаров, П. И. Попиков, М. А. Гнусов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции / гл. ред. В. М. Бугаков; Фед. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Воронеж. гос. лесотехн. акад.». – Воронеж, 2014. – № 2 (2). – С. 64–69.

3. Драпалюк М. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013612484. Имитационная модель двухроторного пожарного грунтомета / М. А. Гнусов, Д. В. Лепилин, М. В. Драпалюк, И. М. Бартенев, П. Э. Гончаров, Д. Ю. Дручинин

4. Советов, Б. Я. Моделирование систем [Текст] : учеб. пособие / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высш. шк., 1998. – 319 с.

5. Драпалюк М.В. Математическая модель процесса подачи и выброса грунта рабочими органами комбинированной машины для тушения лесных пожаров [Электронный ресурс] / М. В. Драпалюк, И. М. Бартенев, М. А. Гнусов, Д. Ю. Дручинин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84 (10). – С. 292–306.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-38-60041 – Совершенствование методологической базы моделирования системы и процессов ликвидации лесных пожаров направленно-регулируемым потоком грунта.*

УДК 621.914:519.876

**А.А. Грибанов**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова

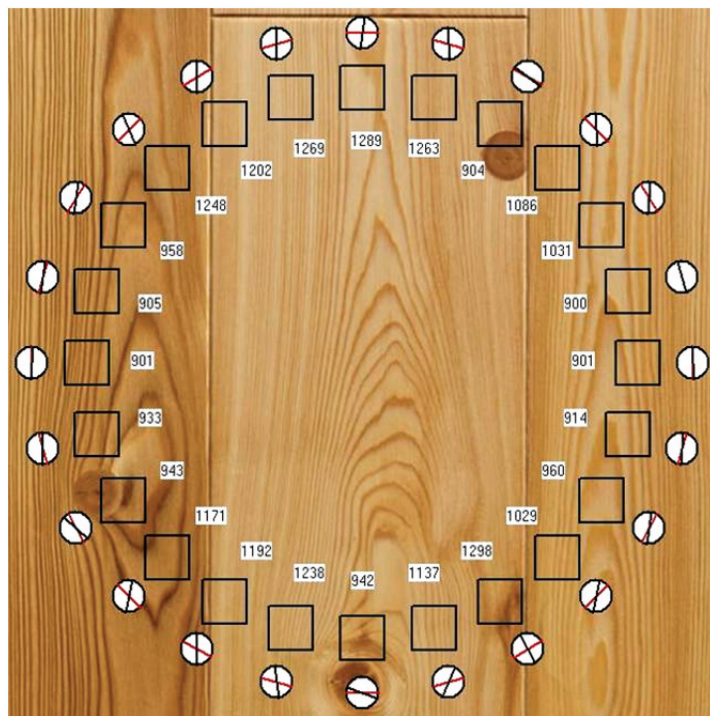
## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Технология адаптивного декоративного фрезерования заключается в изменении технологических параметров процесса фрезерования (в частности, скорости подачи фрезы) в зависимости от структуры поверхности древесины в месте обработки [1, 2]. Для адаптивного декоративного фрезерования целесообразно использовать методику оптического распознавания ориентации волокон.

Технология адаптивного фрезерования наиболее эффективна для декоративного фрезерования, когда фреза движется по сложной траектории в пространстве, при этом взаимная ориентация направления подачи и волокон существенно изменяется вдоль траектории. Кроме того, на участках траектории с малым радиусом кривизны, адаптивный выбор технологических параметров позволяет существенно снизить вероятность скола древесины. Особенно эффективна технология адаптивного фрезерования для древесины малоценных пород, обладающих низкими механическими свойствами и сложной структурой поверхности, поэтому в высокой степени подверженной разрушению.

Технология адаптивного фрезерования в первую очередь может быть использована малыми предприятиями, с мелкосерийным и заказным производством декоративных элементов мебели. В условиях работы данных предприятий нет возможности подбирать режимы фрезерования опытным путем, как это делается на крупных мебельных предприятиях с крупносерийными заказами.

Ниже предлагается выбирать скорость подачи фрезы в зависимости от структуры древесины в области обработки. Рассмотрим математический аппарат для определения структуры поверхности вдоль линии фрезерования, и для коррекции скорости подачи фрезы.



**Рис. 1 – Сопоставление угла траектории и угла ориентации волокон (соответственно красный и черный отрезки в кругах) и результаты определения локальных скоростей подачи (числа, в мм/мин. у квадратов)**

После определения угла ориентации волокон  $\alpha$  (что делается с использованием методики оптического распознавания структуры поверхности древесины), необходимо сравнить этот угол с углом траектории движения фрезы  $\beta$  в данной локальной области и выбрать скорость подачи фрезы. Для этого, по результатам экспериментальных исследований, предлагается выражение следующего вида:

$$v_{\text{под}} = \frac{v_{\text{под}}^0 + v_{\text{под}}^{90}}{2} + \frac{v_{\text{под}}^0 - v_{\text{под}}^{90}}{2} \cos 2(\alpha - \beta),$$

где  $v_{\text{под}}$  – скорость подачи фрезы в данной точке траектории;  $v_{\text{под}}^0$  и  $v_{\text{под}}^{90}$  – оптимальные скорости подачи фрезы вдоль волокон и поперек волокон, обеспечивающие наименьшие шероховатость и повреждения поверхности.

На рисунке 1 рассчитаны скорости подачи фрезы  $v_{\text{под}}$  для каждого из 24 изображений. Как видно из рисунка, целесообразно изменять в широких пределах скорость подачи фрезы в процессе обработки.

Таким образом, окончательное выражение для определения оптимальной скорости подачи фрезы при адаптивном фрезеровании можно записать следующим образом.

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{\text{под}} = \frac{v_{\text{под}}^0 + v_{\text{под}}^{90}}{2} + \frac{v_{\text{под}}^0 - v_{\text{под}}^{90}}{2} \cos 2(\alpha - \beta); \\ \alpha = \begin{cases} 90^\circ P_x^n + 0^\circ P_y^n, & P_{d1} < P_{d2}; \\ 90^\circ P_x^n + 180^\circ P_y^n, & P_{d1} > P_{d2}; \end{cases} \\ P_x^n = P_x / (P_x + P_y); \quad P_y^n = P_y / (P_x + P_y); \\ P_x = \sqrt{\sum_{i=0}^{k_{\max}} w_{xk}^2}; \quad P_y = \sqrt{\sum_{i=0}^{k_{\max}} w_{yk}^2}; \quad P_{d1} = \sqrt{\sum_{i=0}^{k_{\max}} w_{d1k}^2}; \quad P_{d2} = \sqrt{\sum_{i=0}^{k_{\max}} w_{d2k}^2}; \\ w_{xk} = \sqrt{\left( \sum_{i=-l}^{+l} (I_{i_0+i, j_0} - I_{0x}) \cos(\omega ki) \right)^2 + \left( \sum_{i=-l}^{+l} (I_{i_0+i, j_0} - I_{0x}) \sin(\omega ki) \right)^2}; \\ w_{yk} = \sqrt{\left( \sum_{i=-l}^{+l} (I_{i_0, j_0+i} - I_{0y}) \cos(\omega ki) \right)^2 + \left( \sum_{i=-l}^{+l} (I_{i_0, j_0+i} - I_{0y}) \sin(\omega ki) \right)^2}; \\ w_{d1k} = \sqrt{\left( \sum_{i=-l}^{+l} (I_{i_0+i, j_0+i} - I_{0d1}) \cos(\omega ki) \right)^2 + \left( \sum_{i=-l}^{+l} (I_{i_0+i, j_0+i} - I_{0d1}) \sin(\omega ki) \right)^2}; \\ w_{d2k} = \sqrt{\left( \sum_{i=-l}^{+l} (I_{i_0+i, j_0-i} - I_{0d2}) \cos(\omega ki) \right)^2 + \left( \sum_{i=-l}^{+l} (I_{i_0+i, j_0-i} - I_{0d2}) \sin(\omega ki) \right)^2}; \\ I_{0x} = \frac{1}{2l+1} \sum_{i=-l}^l I_{i_0+i, j_0}; \quad I_{0y} = \frac{1}{2l+1} \sum_{i=-l}^l I_{i_0, j_0+i}; \\ I_{0d1} = \frac{1}{2l+1} \sum_{i=-l}^l I_{i_0+i, j_0+i}; \quad I_{0d2} = \frac{1}{2l+1} \sum_{i=-l}^l I_{i_0+i, j_0-i}. \end{array} \right.$$

Предложенный математический аппарат может быть как непосредственно встроен в управляющую программу, так и реализован в виде отдельных модулей (dll-библиотек и API-функций).

### **Список использованных источников**

1. Грибанов, А.А. Адаптивные регуляторы в составе АСУ ТП [Текст] / А. А. Грибанов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 5–4 (16–4). – С. 356–360.

2. Грибанов, А.А. Адаптивное регулирование в современных АСУ ТП [Текст] / А. А. Грибанов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017, № 4 (30). – С. 26–30.

УДК 681.518.3

**А.А. Грибанов, А.С. Василенко**  
Воронежский государственный лесотехнический  
университет имени Г. Ф. Морозова

### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ**

Для управления технологическим объектом, управляющее устройство должно располагать информацией о его свойствах и состоянии в настоящий момент времени. Такие данные обеспечиваются введением в управляющее устройство информации, объем которой зависит от выполняемых им задач и сложности самого объекта управления. В рамках системного подхода любой объект следует рассматривать как систему с какими либо входами и выходами. В том числе технологический объект можно представить как систему, входными исполнительными устройствами которой являются различного рода исполнительные приводы с передаточными устройствами, а выходными – параметры технологического процесса. В этом случае управляющее устройство должно вырабатывать воздействия на входы технологического объекта, так чтобы выходные технологические параметры для обеспечения требуемого качества выпускаемой продукции принимали заданное или оптимальное значение и не превышали допустимых значений. Это значит, что управляющие воздействия и их последовательность должны формироваться управляющим устройством с учетом особенностей технологического объекта, его состояния и тем самым обеспечивать необходимое целенаправленное протекание технологического процесса.

Принципы, методы получения и представления моделей объекта управления являются процессом идентификации.

Общая схема процесса идентификации ОУ представлена на рис. 1. На вход модели объекта подается сигнал  $u(t)$ , т.е. входной сигнал ОУ. Выходной сигнал модели  $y_m(t)$  сравнивается с выходным сигналом объекта  $y(t)$ . Разность сигналов  $e(t)$  используется для формирования критерия близости ОУ и модели. Минимизация этого критерия позволяет уточнить параметры модели.

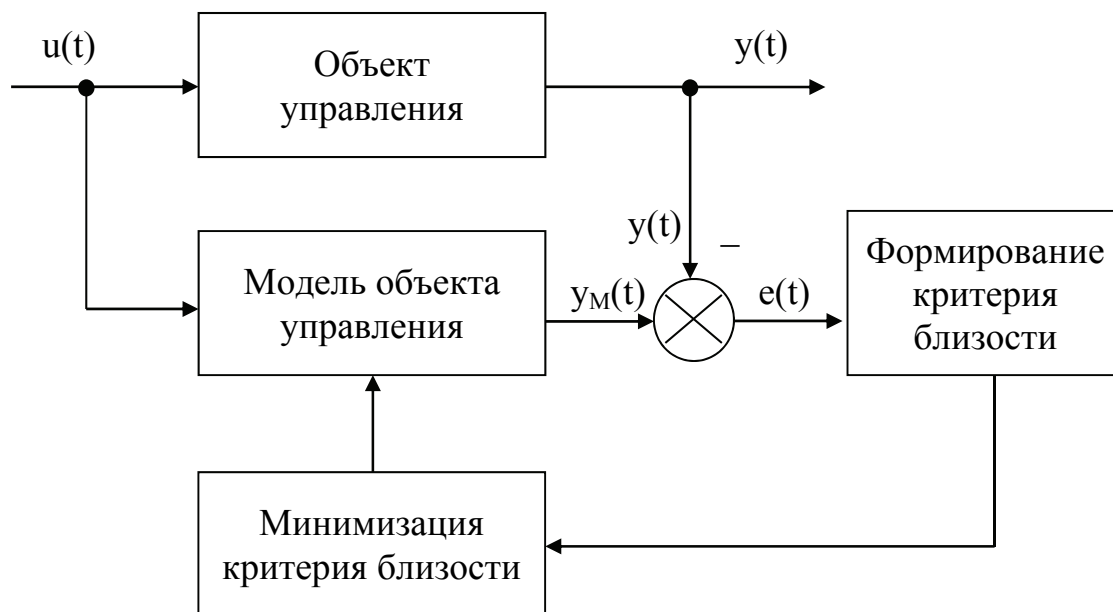


Рис. 1 – Схема решения задачи идентификации объекта управления

Применение автоматизированного процесса идентификации объектов технологического управления позволит снизить временные затраты на пусконаладочные работы, повысить качество управления производственным процессом [1].

Для реализации задачи идентификации требуются технические средства автоматизации и программное обеспечение, взаимодействующие между собой и объектом управления согласно рис. 2 [2].

Сбор данных об объекте управления предлагается проводить с помощью SCADA-системы TRACE MODE 6, в которой реализуется процесс архивации входных и выходных параметров контуров управления в электронную таблицу Microsoft Excel.

Архив параметров технологического объекта управления, полученный в процессе подачи тестовых сигналов, обрабатывается в модуле System Identification программы MatLab.

Точное знание параметров технологического объекта позволит провести оптимальную настройку регуляторов, обеспечивающих



высокое быстродействие при заданном качестве процесса регулирования, что положительным образом сказывается на себестоимости производимой продукции.

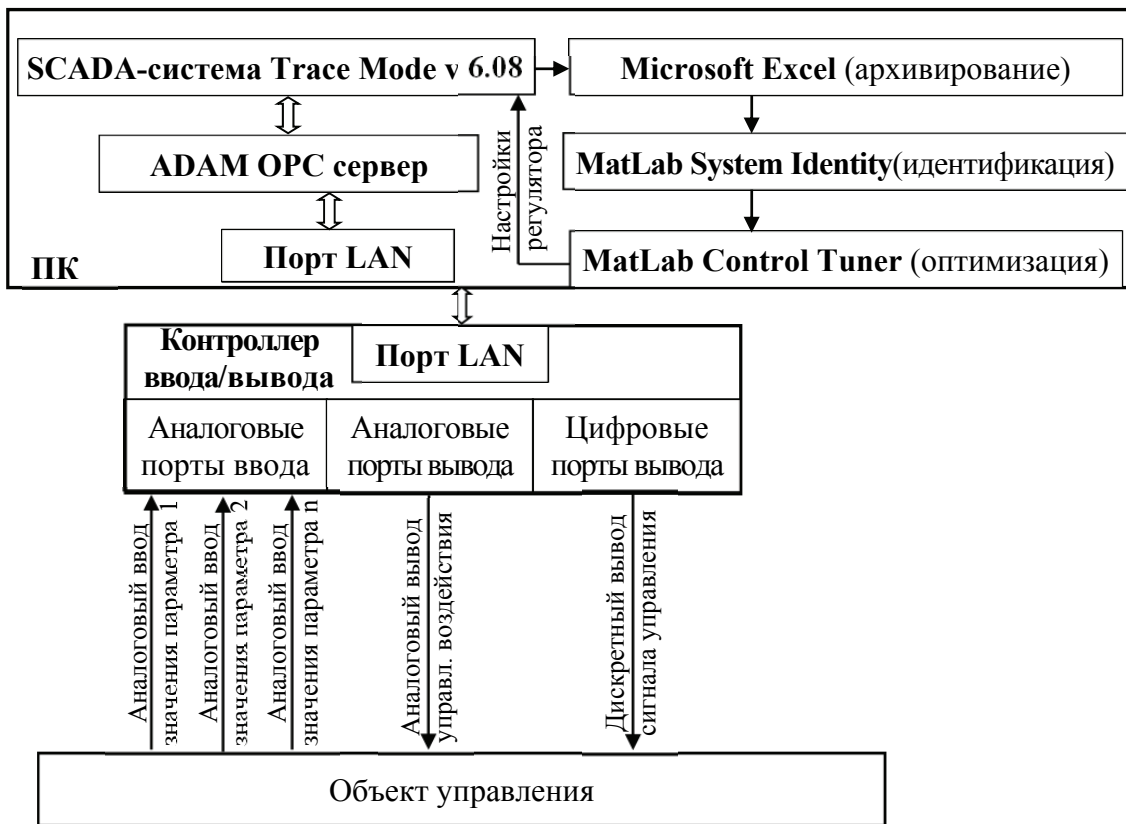


Рис. 2 – Структурная схема системы идентификации объекта управления

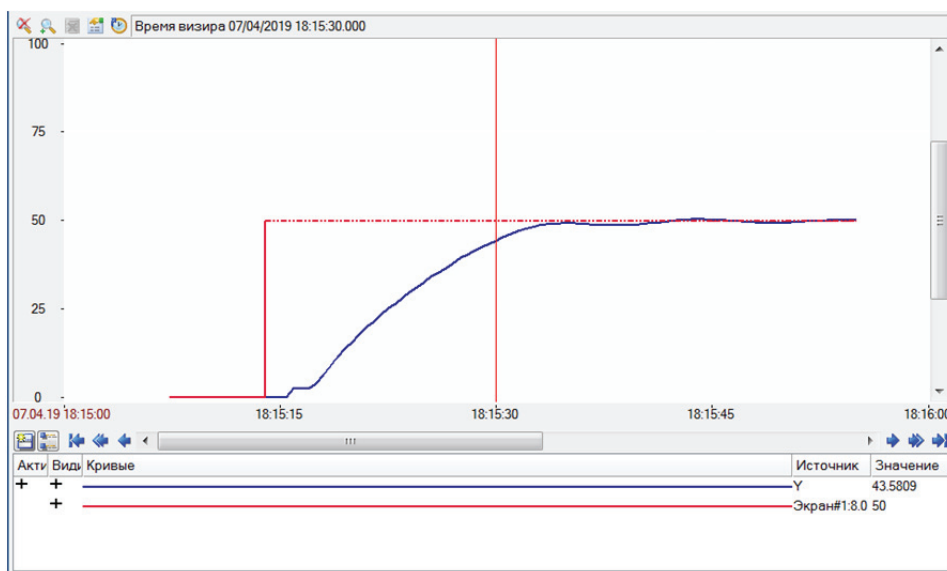


Рис. 3 – Тренд переходного процесса регулирования исследуемого параметра с оптимальными настройками ПИД-регулятора

Найденные оптимальные настройки регулятора могут быть применены в качестве рабочих для любых типов регулирующих устройств. Для примера с исследуемым технологическим параметром, применив настройки ПИД-регулятора, получим график переходного процесса, показанный на рис. 3, отличающийся высокими параметрами качества регулирования и быстродействием.

Предложенная методика, техническое и программное обеспечение позволит уменьшить трудоемкость автоматизации технологических процессов.

### **Список использованных источников**

1. Василенко, А.С. Автоматическое регулирование с использованием нечеткой логики [Текст] / А.С. Василенко, А. А. Грибанов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2018. – Т. 6, № 5 (41). – С. 159–165.

2. Грибанов, А.А. Адаптивные регуляторы в составе АСУ ТП [Текст] / А. А. Грибанов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 5–4 (16–4). – С. 356–360.

УДК 620.952

**А.Ю. Гудков, Я.В. Безноско**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

### **РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ОТХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК**

Одной из актуальных задач рационального природопользования является утилизация отходов лесозаготовительного комплекса. Накопленные промышленные отходы занимают значительные территории, выступают источниками загрязнения окружающей среды, что приводит к ухудшению экологии и условий жизни человека. Отходы получаемые в процессе лесозаготовок являются важной частью природных ресурсов России, они должны стать основным сырьевым ресурсом для развития биоэнергетической промышленности, способной решать задачи энергетической и экологической безопасности регионов.

Так по различным статистическим данным ежегодно в России перерабатывается 180 млн. м<sup>3</sup> древесины. При нынешнем достаточно

низком уровне полезного выхода 40–60 % соответственно образуется около 80 млн. м<sup>3</sup> древесных отходов, требующих переработки или утилизации.

В настоящее время существует ряд методов утилизации древесных отходов. Одной из них является реализация сырья в качестве дров в личных и административных хозяйствах. Но при таком варианте не полностью решаются вопросы экологии, высокоразвитой технологии и другие проблемы. Привлекательно использование древесных отходов в качестве топлива в многотопливных котлах. Эта технология требует размельчение кусков древесины, необходимы котлы для сжигания топлива в кипящем слое. В целом технология утилизации применяется и есть польза. Не решается вопрос высокой теплотворности топлива, но сокращается потребление мазута и производственного газа. Одним из эффективных методов утилизации древесных отходов является сжигание их тепло генераторах. Полученный горячий воздух применяется для воздушного отопления помещений и сушки пиломатериалов, кроме того возможно получение горячей воды для собственных нужд.

Альтернативой прямого использования древесных отходов в виде топлива является организация производства твердого биотоплива. При этом решаются проблемы повышения теплотворной способности топливного материала и уменьшаются складские помещения для хранения продукции. Данное топливо является безопасным и экологически чистым, имеют повышенный спрос на зарубежном и российском рынке.

При существующей технике и технологиях, назначив древесиной в рубку, можно сразу исключать 30% ликвида из общего объема заготовки. Он все равно будет потерян в виде «отходов». Поэтому вопрос о необходимости развития производства биотоплива из отходов деревообработки и лесозаготовок, а также из некондиционной древесины становится все более значимым. В связи с этим особенно актуальной становится тема эффективности использования древесных отходов и некондиционной древесины для производства твердого биотоплива. Проведенный анализ этого сегмента отходов показывает, что биотопливо может эффективно применяться, например, в виде топливных гранул (брикеты, пеллеты), угля, щепы, евро дров, стружки, коры. Рассмотрим более подробно некоторые из них.

Топливные гранулы (пеллеты, брикеты). Облагороженное древесное топливо, полученное из древесных отходов путем прессования хорошо размельченного древесного сырья. Представляет собой цилиндрические гранулы стандартных диаметра и длины. Преимущества древесных гранул в сравнении с другими видами твердого топлива:

– снижение вредных выбросов в атмосферу: древесное биотопливо СО<sub>2</sub> – нейтральным;

– большая теплотворная способность: по сравнению со щепой и с кусковыми отходами древесины. Энергосодержание одного килограмма древесных гранул соответствует 0,5 литра жидкого дизельного топлива; древесные гранулы не уступают по теплотворной способности ни углю, ни мазуту;

– постоянная температура на всем протяжении горения древесных гранул (при большой продолжительности горения);

– низкая стоимость по сравнению и дизтопливом и отоплением электричеством;

– низкая зольность (0,5–1,0%). После сгорания остается пепел, а не угли, как при сжигании других твердых видов топлива;

– чистота помещения, в котором установлен котел;

– возможность автоматизации котельных;

– возможность длительного хранения брикетов без ухудшения их качественных характеристик;

– удобная расфасовка (в основном по 10 кг) позволяет выгружать и складывать их вручную в гараже, подвале и даже в кладовке.

Одной из разновидностью топливных гранул (пеллет) являются торрефицированные пеллеты. Торрефицированные древесные отходы представляют собой новый материал.

Торрефицированные пеллеты получают из древесины путем низкотемпературного пиролиза. В процессе нагрева до древесина теряет влагу, происходит выделение фенола и уксусной кислоты, она меняет свои химические и физические свойства, темнеет. Благодаря удалению уксусной кислоты из древесины замедляются коррозионные процессы металлических элементов пеллетного котла. Процесс торрефикации протекает при температурах 200–270 °С.

Сырьё, подвергшееся подобной процедуре, обладает следующими преимуществами по сравнению с обычной древесиной:

– повышенная энергоёмкость по сравнению с традиционным сырьём за счёт уменьшения общей массы после испарения влаги и прочих негорючих веществ. Масса древесины уменьшается до 30%, в то время как сохраняется от 80 до 90 % первоначальной энергоёмкости древесины (22,5 МДж/кг);

– устойчивость к поглощению влаги, влажность сырья сохраняется на уровне 2%;

– сниженная стоимость транспортировки;

– оптимальное соотношение прочности / хрупкости;

– подавленная биологическая активность;

– горят без дыма.

Производство угля древесного. Ежегодно при заготовках древесины образуется масса лесосечных отходов, которые в силу различных причин в настоящее время в подавляющем большинстве случаев остаются в лесу. Основными причинами не использования этого ресурса, являются возросшие расходы по транспортировке и исторически сложившееся отсутствие промыслов по переработке лесосечных отходов непосредственно на местах лесозаготовок. Одним из таких продуктов является древесный уголь. Производство этого ценного продукта, используемого с большой эффективностью во многих отраслях хозяйства для энергетических и химических целей, резко сократилось (в России в целом с 300 тыс. т до 50...60 тыс. т). Хотя спрос на древесный уголь в мире постоянно возрастает, производство его в мире оценивается в 9 млн. т в год.

В заключение можно отметить, что эффективное использование отходов лесозаготовок и неликвидной древесины является основной задачей стоящей перед лесным комплексом РФ. Так как использование древесных отходов в качестве энергоносителя на внутреннем рынке помимо экономического и социального эффекта дает еще и ощутимый экологический эффект.

#### **Список использованных источников**

1. Сафонов А.О. Состояние и перспективы производства новых и перспективы производства новых видов древесного биотоплива [Текст]/ А.О.Сафонов, Е.В. Зотова // Актуальные направления научных исследований XXI века теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. / Воронеж. гос. лесотехн. акад.– Воронеж, 1996. – 244 с. Библиогр.: с. 238–244.

2. Гудков А.Ю. Использование мобильных рубительных машин для производства биотоплива / Свиридов В.Г., Полетаев Н.Н. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 4–2 (15–2). С. 184–187.

3. Зотова Е.В. Управление качественными характеристиками древесных пеллет // Инновации, качество и сервис в технике технологиях – Курск, 04–05 июня 2014 г. № 1. – С. 229–232

4. Лебедева Е. С. Совершенствование технологического процесса производства топливных гранул (пеллет) // Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. XLVI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 9 (45).

5. Гельфанд Е.Д. Технология биотоплив //учебное пособие для магистрантов, обучающихся по направлению 240700.68 «Биотехнология» рукопись – Архангельск – 2012. – 60 с.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОБОДНО-  
КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛООТДАЧИ ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ИЗ КРУГ-  
ЛОРЕБРИСТЫХ ТРУБ С РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТОЙ ОРЕБРЕНИЯ**

Теплообменники воздушного охлаждения (ТВО) применяются в различных отраслях промышленности для конденсации и охлаждения технологических продуктов и энергоносителей.

В настоящее время ТВО в основном эксплуатируются в режиме вынужденной конвекции, который позволяет значительно увеличить коэффициент теплопередачи и тем самым снизить габариты теплообменника. Но эксплуатация таких ТВО требует значительного потребления энергии на привод вентиляторов.

Одним из способов решения проблемы энергосбережения является перевод данных ТВО в режим свободной конвекции без затрат электроэнергии на привод вентиляторов. При некоторой температуре охлаждающего воздуха вентиляторы воздухоохлаждаемого теплообменника могут быть частично или полностью отключены при обеспечении нормативной тепловой мощности аппарата [1]. Главным недостатком данных ТВО является малые коэффициенты теплопередачи и существенные габаритно-массовые характеристики. Поэтому очень актуальны углубленные исследования эксплуатации ТВО в режиме свободной конвекции, которые связаны с разработкой энергоэффективной поверхности теплообмена ТВО в данном тепловом режиме.

В данной работе были проведены экспериментальные исследования влияния высоты оребрения круглоребристой трубы на свободно-конвективный теплообмен однорядного пучка из шести ( $m = 6$  шт.) труб с поперечным шагом  $S_1 = 64$  мм (относительным поперечным шагом  $\sigma_1 = S_1 / d = 1,140$ ).

Геометрические размеры биметаллических оребренных труб со спиральными накатными ребрами были следующие: наружный диаметр  $d = 56$  мм; диаметр трубы по основанию  $d_0 = 26,8$  мм; высота ребра  $h = 14,6$  мм; шаг ребра  $s = 2,5$  мм; средняя толщина ребра  $\Delta = 0,5$  мм; длина трубы  $l_n = 330$  мм (теплоотдающая длина  $l = 300$  мм), коэффициент оребрения трубы  $\phi = 19,26$ . Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь. Диаметр несущей трубы  $d_n = 25$  мм, толщина стенки  $\delta = 2$  мм. Внутри несущей трубы соосно с помощью центровочного кольца вставлялся,

изготовленный на ОАО «Минский завод тэнов», стальной теплоэлектронагреватель (ТЭН) диаметром  $d_{\text{ТЭН}} = 12,5$  мм, максимальной мощностью 320 Вт. Для устранения внутренних конвективных токов воздуха и равномерного прогрева трубы между ТЭНом и стенкой засыпался кварцевый песок дисперсным составом 0,16–0,32 мм. Для снижения торцевых потерь на концах труб однорядного пучка применялся теплоизолирующий короб с минеральной ватой [2].

Для изменения высоты оребрения труб в однорядном пучке их ребра стачивались с помощью шлифования (соблюдался относительный поперечный шаг  $\sigma_1 = 1,140$ ) до: 1) высоты ребра  $h = 12$  мм, соответственно наружный диаметр труб составил  $d = 50,8$  мм, а коэффициент оребрения  $\varphi = 15,08$ ; 2)  $h = 8$  мм;  $d = 42,8$  мм –  $\varphi = 9,43$ ; 3)  $h = 4,1$  мм;  $d = 35$  мм –  $\varphi = 4,84$ .

Схема экспериментальной установки, аппаратное оснащение ее измерительными приборами, методика и порядок проведения опытов изложены в [2,3].

Во время экспериментального исследования однорядного пучка электрическая мощность, подводимая к трубе, изменялась в пределах  $W = 6–230$  Вт, средняя температура стенки у основания ребер составляла  $t_{\text{ст}} = 30–250^\circ\text{C}$ , а температура окружающего воздуха в камере  $t_0 = 16–27^\circ\text{C}$ . Теплофизические свойства воздуха  $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $\rho$ ,  $c_p$ ,  $\beta$  определяли по температуре окружающего воздуха в камере  $t_0$ . За определяющий размер был принят диаметр трубы по основанию ребер  $d_0$ .

По данным измерений рассчитывался средний приведенный коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесенный к полной наружной поверхности круглоребристой трубы  $\alpha_k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К). При его определении учитывалась лучистая составляющая и составляющая потерь. Все расчетная методика подробно представлена в [2,4].

Сравнение по тепловой эффективности горизонтального однорядного пучка из круглоребристых труб с различной высотой оребрения производилось с помощью зависимости показателя объемной плотности теплового потока от движущей силы при свободной конвекции, разности средней температуры стенки трубы и температуры окружающего воздуха ( $q_v = f(t_{\text{ст}} - t_0)$ ) [5].

Объемная плотность теплового потока при различных высотах трубы однорядного пучка в режиме свободной конвекции определялась по формуле, Вт/м<sup>3</sup>

$$q_v = \frac{Q_k}{V_r} \cdot m, \quad (1)$$

Для однорядного пучка габаритный объем (объем параллелепипеда) определялся так, м<sup>3</sup>:  $V_r = S_{\text{осн}} \cdot H = l \cdot m \cdot S_1 \cdot d$ , где  $S_{\text{осн}}$  – площадь

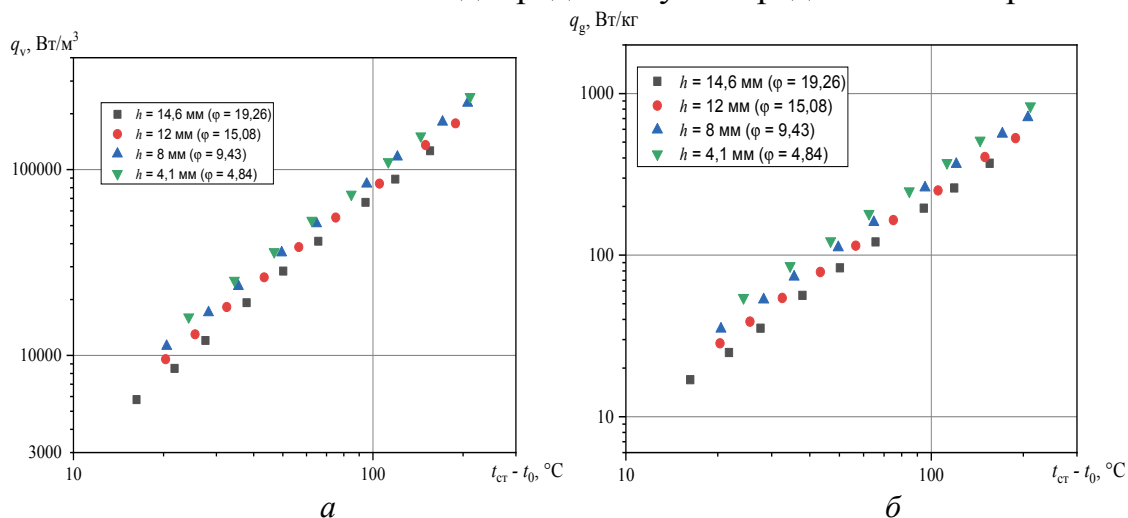
основания параллелепипеда (площадь прямоугольника, образующегося длиной одной трубы  $l$ , м и  $m$  шт. поперечных шагов труб  $S_1 = d \cdot \sigma_1$ , м),  $m^2$ ;  $H$  – высота параллелепипеда, м, равная наружному диаметру трубы  $d$ , м.

Оценка рационального использования алюминия из которого изготавливается оребрение для круглоребристых труб с различной высотой оребрения производилось с помощью зависимости показателя массовой плотности теплового потока от разности средней температуры стенки трубы и температуры окружающего воздуха ( $q_g = f(t_{ст} - t_0)$ ).

Массовая плотность теплового потока по алюминию при различных высотах трубы однорядного пучка в режиме свободной конвекции определялась по формуле, Вт/кг

$$q_g = \frac{Q_k}{G} \cdot m. \quad (2)$$

Результаты оценки по тепловой эффективности и рациональному использованию алюминия в однорядном пучке представлены на рис. 1.



**Рис. 1 – Графическая зависимость объемной плотности теплового потока (а) и массовой плотности теплового потока (б) от разности средней температуры стенки трубы и температуры окружающего воздуха**

Из анализа рис. 1 следует, что наиболее энергетически выгодной и экономически целесообразной по использованию алюминиевого оребрения является высота ребра круглоребристой трубы  $h = 4,1$  мм.

### Обозначения

$Q_k$  – конвективный тепловой поток, отведенный с трубы, Вт;  $V_r$  – габаритный объем, занимаемый однорядным пучком,  $m^3$ ;  $m$  – число труб в пучке, шт;  $G$  – масса алюминия, кг.



## Список использованных источников

1. Кунтыш В.Б., Сухоцкий А.Б., Самородов А.В. Инженерный метод теплового расчета аппарата воздушного охлаждения в режиме свободно-конвективного теплообмена // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. № 12. С. 3–6.
2. Сухоцкий А.Б., Данильчик Е.С. Исследование свободноконвективного теплообмена оребренной трубы и однородного пучка при различных углах наклона труб к горизонтальной плоскости // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 272–279.
3. Сидорик Г.С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглоребристых труб и пучков // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 1 (204). С. 85–93.
4. Сухоцкий А.Б., Сидорик Г.С. Интенсификация свободной конвекции в однорядном оребренном пучке в аппаратах воздушного охлаждения // Труды БГТУ. Сер.2. Хим. технол., биотехнол., геоэколог. 2017. № 1. С.68–74.
5. Hahne E., Zhu D. Natural convection heat transfer on finned tubes in air // Int. J. Mass Transfer. 1994. Vol. 37. Suppl. 1. P. 59–63.

УДК 536.24

**А. Б. Сухоцкий, Е. С. Данильчик**

Белорусский государственный технологический университет

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫТЯЖНОЙ ШАХТЫ НА СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛОБМЕН ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ИЗ КРУГЛОРЕБРИСТЫХ ТРУБ С РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТОЙ ОРЕБРЕНИЯ**

В настоящее время ТВО в основном применяются в режиме вынужденной конвекции, который позволяет значительно увеличить коэффициент теплопередачи и тем самым снизить габариты теплообменника. Но эксплуатация таких ТВО требует значительного потребления энергии на привод вентиляторов. Одним из технических решений по энергосбережению при эксплуатации ТВО является частичное или полное отключение вентиляторов – перевод работы ТВО в режим свободной конвекции.

К сожалению, область температур окружающего воздуха, при которых возможно применение воздухоохлаждаемых теплообменников в условиях свободной конвекции, ограничена. Но при оснащении их дополнительными устройствами, позволяющими интенсифицировать свободную конвекцию, теплопроизводительность теплообменника может оставаться стабильной при более высоких температурах окружающего воздуха без потребления электроэнергии приводом вентилятора. Одним из таких устройств является вытяжная шахта, установленная над воздухоохлаждаемым теплообменником для усиления тяги воздуха. При этом, данный режим конвективного теплообмена будет являться смешанным, когда вынужденный и свободно-конвективный теплообмен играют равнозначную роль.

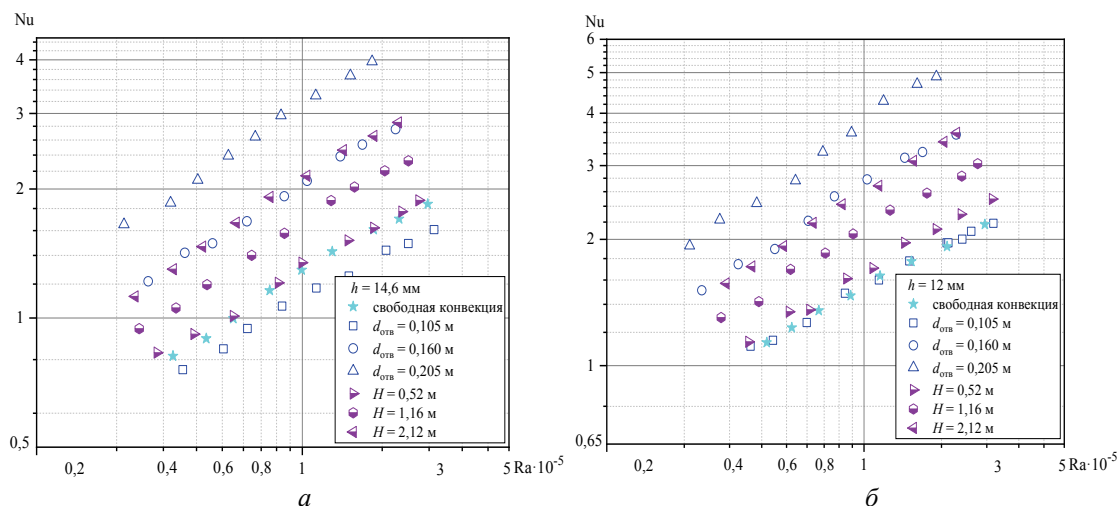
В данной работе были проведены экспериментальные исследования однорядного пучка из шести круглоребристых труб с поперечным шагом  $S_1 = 64$  мм (относительным поперечным шагом  $\sigma_1 = S_1 / d = 1,140$ ) с различной высотой оребрения труб. Геометрические размеры биметаллических оребренных труб со спиральными накатными ребрами были следующие: наружный диаметр  $d = 56$  мм; диаметр трубы по основанию  $d_0 = 26,8$  мм; высота ребра  $h = 14,6$  мм; шаг ребра  $s = 2,5$  мм; средняя толщина ребра  $\Delta = 0,5$  мм; длина трубы  $l_{\text{п}} = 330$  мм (теплоотдающая длина  $l = 300$  мм), коэффициент оребрения трубы  $\varphi = 19,26$ . Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь. Диаметр несущей трубы  $d_{\text{н}} = 25$  мм, толщина стенки  $\delta = 2$  мм.

Для изменения высоты оребрения труб в однорядном пучке их ребра стачивались с помощью шлифования (соблюдался относительный поперечный шаг  $\sigma_1 = 1,140$ ) до: 1) высоты ребра  $h = 12$  мм, соответственно наружный диаметр труб составил  $d = 50,8$  мм, а коэффициент оребрения  $\varphi = 15,08$ ; 2)  $h = 8$  мм;  $d = 42,8$  мм –  $\varphi = 9,43$ ; 3)  $h = 4,1$  мм;  $d = 35$  мм –  $\varphi = 4,84$ .

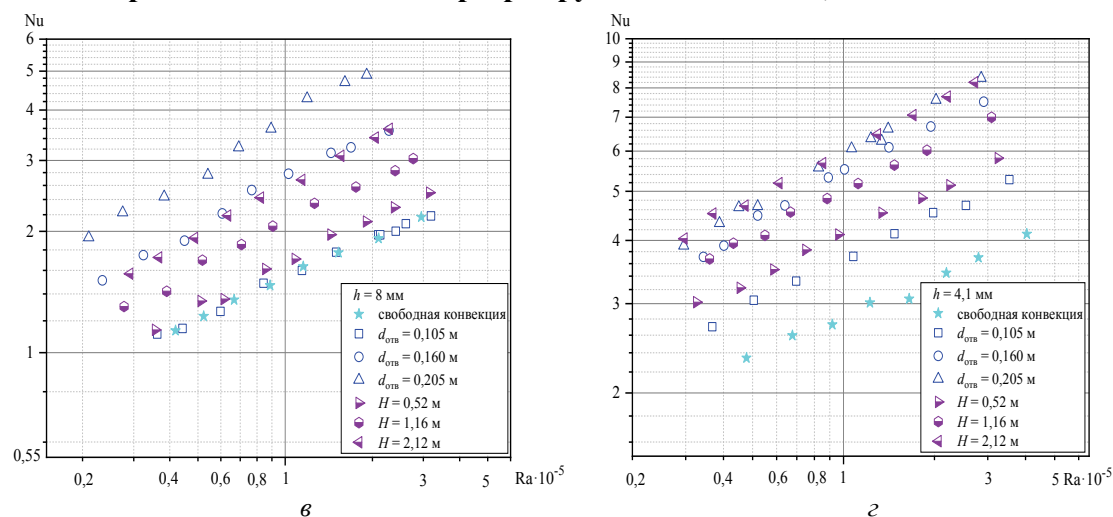
Для интенсификации свободно-конвективного теплообмена над поверхностью однорядного пучка, описанного выше, устанавливались два вида шахт – с регулируемым проходным сечением и регулируемой высотой [1]. Первым типом являлась шахта с регулируемым проходным сечением, представляющая собой параллелепипед из фанеры с прямоугольным основанием, высотой 0,52 м. Для регулирования проходного сечения на ее выходе устанавливались крышки с круглыми отверстиями различного диаметра  $d_{\text{отв}} = 0,105$ ; 0,160 и 0,205 м. Другой тип – это шахта с прямоугольным основанием, переходящим через конфузор в цилиндрическую трубу диаметром 0,105 м, регулируемой высотой  $H = 0,52$ ; 1,16; 2,10 м.

Схема экспериментальной установки, аппаратное оснащение ее измерительными приборами, методика и порядок проведения опытов изложены в [1,2].

Результаты экспериментальных исследований свободной и интенсифицированной (смешанной) конвективной теплоотдачи однорядного пучка (с относительным шагом  $\sigma_1 = 1,140$ ) из круглоребристых труб с различной высотой оребрения труб представлены на рис. 1 и на рис. 2.



**Рис. 1 – Свободно-конвективная и смешанно-конвективная теплоотдача однорядного пучка с относительным шагом  $\sigma_1 = 1,140$  с различными высотами ребра труб: а –  $h = 14,6$  мм; б –  $h = 12$  мм**



**Рис. 2 – Свободно-конвективная и смешанно-конвективная теплоотдача однорядного пучка с относительным шагом  $\sigma_1 = 1,140$  с различными высотами ребра труб: в –  $h = 8$  мм; з –  $h = 4,1$  мм**

При анализе рис. 1 и рис. 2 видно, что при снижении высоты оребрения круглоребристых труб (от одной высоты к другой, например  $h = 14,6$  мм по сравнению с  $h = 12$  мм и т. д.) теплоотдача однорядного

пучка в режиме свободной и смешанной конвекции увеличивается в 1,1–1,6 раза. Также видно, что интенсификация свободно-конвективного теплообмена однорядного пучка протекает по-разному при различных высотах оребрения труб. Например, при  $h = 14,6$  мм вытяжная шахта с выходным диаметром отверстия  $d_{\text{отв}} = 0,105$  м ухудшает теплоотдачу однорядного пучка по сравнению со свободно-конвективным режимом в 1,1 раза (более подробно объяснено в [4]), а при  $h = 4,1$  мм наоборот увеличивает теплоотдачу однорядного пучка в 1,28 раза.

### **Список использованных источников**

1. Сидорик Г.С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглоорбренных труб и пучков // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 1 (204). С. 85–93.

2. Сухоцкий А.Б., Данильчик Е.С. Исследование свободноконвективного теплообмена оребренной трубы и однородного пучка при различных углах наклона труб к горизонтальной плоскости // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 272–279.

3. Сухоцкий А.Б., Сидорик Г.С. Интенсификация свободной конвекции в однорядном оребренном пучке в аппаратах воздушного охлаждения // Труды БГТУ. Сер.2. Хим. технол., биотехнол., геоэколог. 2017. № 1. С.68–74.

4. Сухоцкий А.Б., Сидорик Г.С. Исследование смешанноконвективной теплоотдачи однорядных воздухоохлаждаемых теплообменников при различных поперечных шагах установки труб // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. № 19. С. 3–11.

УДК 678.7-139-9: 678.742.3:678.762.2

<sup>1</sup> О.А. Панфилова, <sup>1</sup> Н.А. Охотина,  
<sup>2</sup> Р.М. Долинская, <sup>1</sup> А.В. Сиразетдинов

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский  
технологический университет

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

### **ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ВУЛКАНИЗАТЫ НА ОСНОВЕ ТРОЙНЫХ СМЕСЕЙ ПОЛИМЕРОВ**

Термопластичные вулканизаты (ТПВ) представляют собой сложную полимерную гетерогенную систему, в которой частицы дисперсной

фазы вулканизованного каучука равномерно распределены и тонко диспергированы в непрерывной фазе термопласта [1], причем набор свойств конечного материала напрямую определяется природой используемых полимеров.

В отличие от традиционной технологии резинового производства, технология изготовления термопластичных вулканизатов предусматривает совмещение стадии смешения термопласта с эластомером и энергоемкой стадии вулканизации каучуковой фазы, что позволяет до минимума сократить время изготовления материала и занимаемые оборудованием производственные площади.

Ранее [2] были разработаны термопластичные вулканизаты на основе бинарных смесей каучук – полиолефин. Проведенные исследования показали, что в зависимости от типа полимеров, входящих в состав ТПВ устойчивое сосуществование двух фаз наблюдается в интервале 50 – 200 мас. ч. полиолефина на 100 мас. ч. каучука.

Во многих отраслях промышленности широко применяются термоэластопластичные материалы на основе бинарных смесей полиолефинов (полипропилен, полиэтилен, поливинилхлорид, полиамиды) и олефиновых (этиленпропиленовые двойные и тройные) или диеновых (натуральный, бутадиен-стирольный, бутадиен-нитрильный и др.) каучуков.

В то же время расширяются исследования по получению новых материалов на основе тройных и более полимерных смесей, в которых в зависимости от соотношения компонентов можно варьировать основные свойства композитов для удовлетворения различных требований потребителей.

Нами [2–5] были установлены закономерности смешения и формирования структуры термопластичных вулканизатов на основе полипропилена и комбинации неполярного изопренового (СКИ) и полярного бутадиен-нитрильного (БНКС) каучуков. Разработанная рецептура термопластичного вулканизата при содержании полимерных компонентов ПП/СКИ/БНКС = 30/60/10 включала в себя защитные и технологические добавки, серно-ускорительную вулканизирующую систему. Композиты изготавливались в лабораторном высокоскоростном роторном смесителе Plasti-corder® Lab Station Brabender с последующей обработкой в экструзионной приставке с плоскощелевым или круглым цилиндрическим каналами в головке.

Для повышения уровня взаимодействия на границе раздела разнополярных компонентов – полипропилен – изопреновый каучук – бутадиен-нитрильный каучук – выбраны добавки. Показано, что при совместном использовании малеинизированного полипропилена (МАПП), улучшающего распределение эластомеров в фазе термопла-

ста, и сополимера этилена с винилацетатом (СЭВА), способствующего лучшему диспергированию полярного каучука в неполярном каучуке, удалось повысить уровень свойств термопластичных вулканизатов на основе комбинации разнополярных полимеров (таблица 1).

**Таблица 1 – Уруго-прочностные свойства ТПВ на основе ПП/СКИ/БНКС (30/60/10), содержащих МАПП и СЭВА**

Показатели	Дозировка СЭВА / МАПП, мас. ч.			
	0 / 0	0 / 4	6 / 0	6 / 4
Условная прочность при растяжении, МПа	8,9	10,2	11,1	12,0
Относительное удлинение при разрыве, %	380	400	420	440
Модуль упругости при растяжении, МПа	57,2	63,8	60,1	64,2
Твердость, усл. ед. Шор А	67	72	70	74
Модуль упругости, МПа	56	58	58	64

При исследовании морфологии композитов с помощью аналитического комплекса на базе оптического микроскопа марки Leica DM-2500 установлено, что при введении добавок происходит значительное уменьшение размера частиц дисперсной фазы, повышение диффузности межфазных границ. Таким образом, при совместном введении МАПП и СЭВА размер дисперсной фазы уменьшается от 20–367 до 4–37 мкм.

Методом растровой электронной микроскопии показано сглаживание поверхности скола, устранение пор, микротрещин. Увеличение равномерности распределения компонентов полимерной фазы обеспечило повышение прочностных характеристик ТПВ.

На основании полученных результатов была наработана опытная партия разработанного полимерного материала и оценена его устойчивость к воздействию агрессивных сред и различных атмосферных факторов.

В качестве жидких агрессивных сред были использованы растворители и масла. Установлено, что по степени изменения массы и деформационно-прочностных свойств композитов после набухания в смеси изооктан-толуол, стандартном масле СЖР-3, моторном масле и в воде при нормальной температуре в течение 72 ч. композиты показали приемлемый уровень сохранения свойств.

Для оценки устойчивости термопластичных вулканизатов к термо- и фотоокислительному старению образцы были выдержаны в термостате при температурах 100 и 120°С в течение 72 ч и в камере све-

тового старения в течение 600 ч при температуре  $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$  и освещенности  $20000 \pm 500$  лк.

Результаты испытаний показали высокий уровень устойчивости термопластичного вулканизата к термо- и фотоокислительному старению: максимальный уровень снижения свойств не превысил 20% по сравнению с исходным образцом.

**Таблица 2 – Свойства ТПВ после испытаний в камере искусственного климата**

Показатели	Время испытания, ч				
	–	48	96	144	192
Условная прочность при растяжении, МПа	12,0	11,9	11,8	11,7	11,3
Относительное удлинение при разрыве, %	460	440	440	420	400
Твердость, усл. ед. Шор А	78	80	82	82	84
Изменение прочности / относительного удлинения после испытаний, %	– / –	–1 / –4	–2 / –4	–3 / –9	–6 / –13
Наличие трещин	–	–	–	–	–

Высокая устойчивость материала к атмосферным воздействиям подтвердилась при испытаниях образцов термопластичных вулканизатов в камере искусственного климата с ультрафиолетовым облучением QUV-80-sprau, которая предназначена для имитации естественных процессов старения материала под воздействием агрессивных факторов на открытом воздухе.

Из данных таблицы 2 видно, что после экспозиции образцов в камере искусственного климата в течение 192 ч. условная прочность при растяжении снизилась не больше чем на 6%, а относительное удлинение – на 13%.

Таким образом, термопластичный вулканизат на основе полипропилена и комбинации изопренового и бутадиен-нитрильного каучуков обладает высоким уровнем сохранения деформационно-прочностных свойств после фото-, термоокислительного и погодного старения, а также удовлетворительной устойчивостью к действию жидких агрессивных сред.

#### **Список использованных источников**

1. Холден, Д. Термоэластопласты / Д. Холден, Х.Р. Крихельдорф, Р.П. Куирк // СПб.: ЦОП «Профессия». – 2011. – 720 с.
2. Термопластичная конференция: пат. 2373 Респ. Беларусь, МПК7 C08 L 9/00, C08 L 23/06 / Р. М. Долинская, С. С. Мигаль, Е. И. Родионова, В. В. Русецкий, Е. И. Щербина; заявитель Бел. Гос. Техн. Ун-т. – № а960052; заявл. 13.02.96; опубл. 15.04.98 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. Уласнасці. – 1998. – № 3. С. – 170.

3. Вольфсон, С.И. и др. Динамически вулканизированные термоэластопласты на основе смеси каучуков разной полярности и полипропилена / С.И. Вольфсон, Н.А. Охотина, О.А. Панфилова и др. // Вестник Казанского технологического университета. –2015. – Т. 18. – № 14. – С. 90.

4. Панфилова, О.А. Структура термопластичных вулканизатов на основе каучуков различной полярности и полипропилена / О.А. Панфилова, С.И. Вольфсон, Н.А. Охотина, и др. // Каучук и резина. – 2016. – № 4. – С. 10–14.

5. Панфилова, О.А. Совмещающие добавки для повышения взаимодействия на границе раздела фаз в термопластичных вулканизатах на основе каучуков различной полярности и полипропилена / О.А. Панфилова, С.И. Вольфсон, Н.А. Охотина, и др. // Каучук и резина. – 2017. – № 4. – С. 12–15.

УДК 691.535

<sup>1</sup>Г.М. Досанова, <sup>2</sup>Н.Х. Талипов, <sup>3</sup>И.А. Левицкий

<sup>1</sup>Каракалпакский государственный университет

<sup>2</sup>ГУП «Фан ва тараккиет», г. Ташкент

<sup>3</sup>Белорусский государственный технологический университет

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРМИКУЛИТОВ ТЕБИНБУЛАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАРАКАЛПАКСТАН**

Объектом исследования явились вермикулиты, добываемые на месторождении Тебинбулак, расположенном в Северо-Западном окончании гор Султанувайс, в 16 км от поселка Каратау и в 8 км от железнодорожной станции Караузьяк в республике Каракалпакстан, Узбекистан.

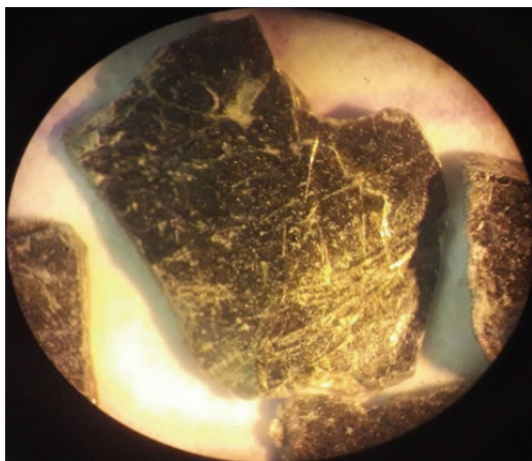
Исследовались 2 пробы вермикулитового концентрата с размером зерен 0,5–1 мм и 2–4 мм.

По визуальному осмотру исследованное минеральное сырье однородное, цвет – темно-серый. Представлено пластинчатыми агрегатами со стеклянным блеском, на плоскостях спайности – с перламутровым. Спайность совершенная в одном направлении. Листочки упругие, не ломкие, иногда собранные в многослойные пакеты.

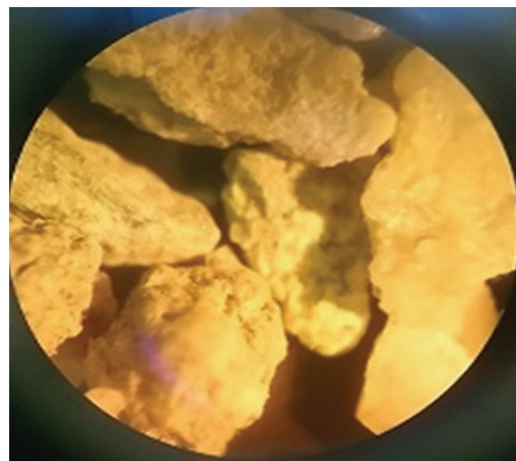
Микроскопическим исследованием, проведенным с помощью микроскопа МБС–10 (Россия) при кратности увеличения 32, в обеих пробах сырья установлено преобладание пластинчатых агрегатов (ри-



сунок 1). Обнаружено наличие примесного кальцита с четко ограниченными кристаллами, образующими зернистые агрегаты, размером 1–3 мм (рисунок 2). При воздействии на кальцит 10 % HCl наблюдается бурное вскипание.



**Рис. 1 – Вермикулит**



**Рис. 2 – Кальцит**

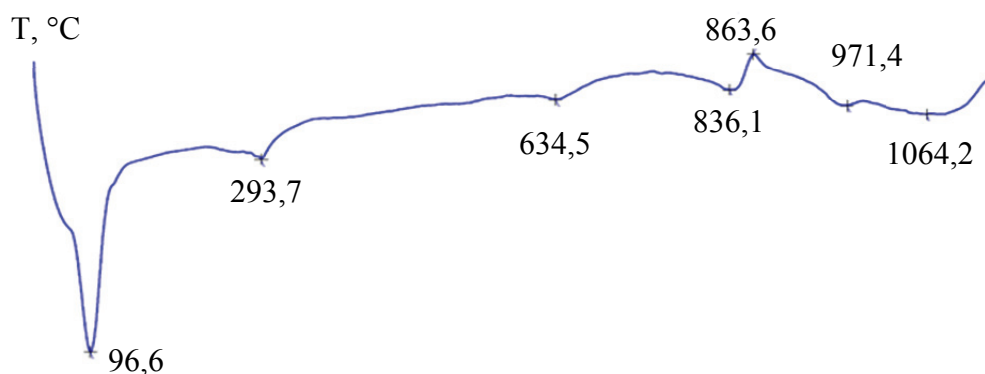
Химический состав вермикулитового концентрата усредненной пробы выполнен на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре типа XRF–1800 фирмы Shimadzu (Япония).

Установлено, что химический состав вермикулита включает, мас. %: Na<sub>2</sub>O 1,67; MgO 19,00; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 13,10; SiO<sub>2</sub> 37,91; K<sub>2</sub>O 5,53; CaO 3,13; TiO<sub>2</sub> 1,87; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11,02; ZnO 0,01; BaO 0,54; NiO 0,03; SO<sub>3</sub> 0,2; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,08; MnO 0,07; SrO 0,03; Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,04. Потери при прокаливании составляют 5,77 мас. %.

С помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM–5610 LV (Япония) с системой химического анализа EDX JED–2201 JEOL установлен химический состав измельченного вермикулита, который включает следующие оксиды, мас. %: Na<sub>2</sub>O 0,55; MgO 15,61; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 17,48; SiO<sub>2</sub> 44,2; K<sub>2</sub>O 4,9; CaO 0,52; TiO<sub>2</sub> 2,40; FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14,34.

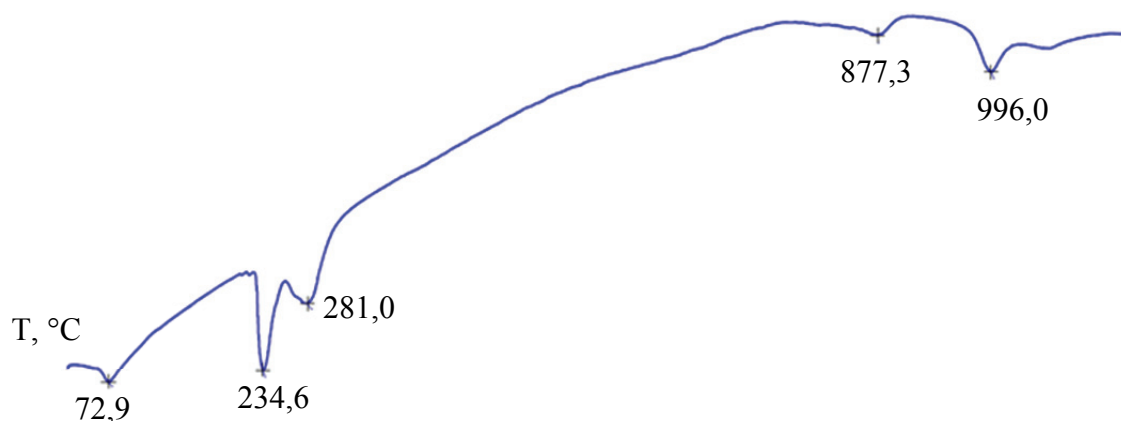
Исследование фазовых переходов в исследуемом вермикулите проводилось методом дифференциальной сканирующей калориметрии со скоростью 10 °C/мин на приборе DSC 404 F3 Pegasus NETZSCH (Германия) в интервале температур 20–1200 °C в инертной среде с погрешностью измерения ± 0,1 °C.

Одна из проб готовилась тщательным перетиранием усредненной пробы в яшмовой ступке, вторая проба представляла собой несколько тщательно отобранных агрегатов вермикулитового сырья диаметром около 2 мм, сложенных несколькими плотно прилегающими слоями. Кривая ДСК первой пробы представлена на рисунке 3, второй – на рисунке 4.



**Рис. 3 – ДСК измельченного вермикулита**

Первый глубокий эндотермический эффект на ДСК измельченно-го вермикулита соответствует 96,6 °С и связан с удалением гигроскопической влаги. Его значительная интенсивность для тщательно измельченной пробы вполне объяснима.



**Рис. 4 – ДСК вермикулита фракция 2,0 мм**

Что касается второго образца, то эндоэффект, обусловленный удалением гигроскопической влаги, несколько смещен в сторону более низких температур и составляет 72,9 °С.

Второй эндоэффект на кривой измельченного вермикулита обусловлен выделением химически связанной молекулярной (межпакетной воды) и отмечается при 293,7 °С. Для пробы, не подвергающийся измельчению этот эндоэффект более глубокий и также смещен в сторону более низкой температуры с формированием двойного эндотермического эффекта, наблюдаемого при 234,6 °С и 281,0 °С, с убыванием площади второго эндоэффекта, что характерно для ряда исследованных вермикулитов [1]. Первый из этих эффектов (234,6 °С) – удаление гигроскопической влаги, второй (281,0 °С) – химически связанной молекулярной (межпакетной) воды.

Далее для тонко измельченной пробы характерен эндотермический эффект при 634,5 °С, что обусловлено разложением кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ), присутствующего в качестве примеси. Естественно, что в отобранной пробе единичных агрегатов вермикулита этот эндоэффект отсутствует.

Следующий эндотермический эффект при 836,1 °С для тонкоизмельченного вермикулита обусловлен, по нашему мнению, выделением гидроксильной воды, сопровождающийся распадом кристаллической решетки вермикулита и кристаллизацией энстатита. Этот эндоэффект для отобранных агрегатов вермикулита фиксируется при 877,3 °С.

Только для измельченной пробы характерен эндоэффект с максимумом при 863,6 °С, обусловленный, очевидно окислением железа  $\text{Fe}^{2+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$ , присутствующего в примесном минерале (биотита), что связано с особенностями метаморфизма исходных слюдястых минералов, присутствующих в вермикулитовом сырье [2].

Далее на кривой ДСК тонкоизмельченной пробы фиксируется эндотермический эффект при 971,4 °С и для отобранных агрегатов – при 996,0 °С, что связано с частичным оплавлением агрегатов вермикулита.

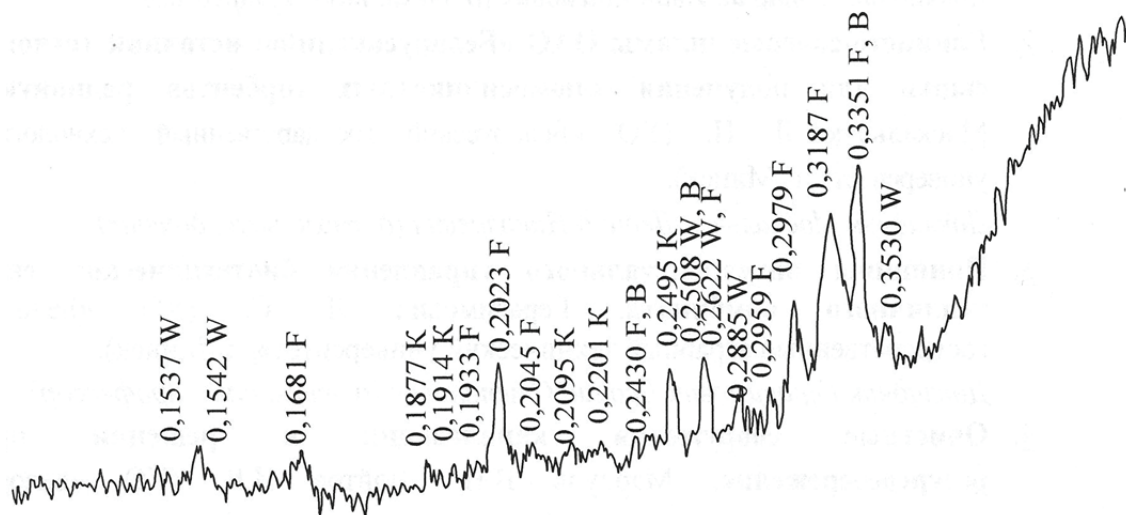
Для тонкоизмельченной пробы в связи с присутствием примесных минералов, в частности биотита, наблюдается эндоэффект при 1064,20 °С, обусловленный выделением из него конституционной воды, разрушением кристаллической решетки и образованием новой фазы – магнезиоферрита [1].

Рентгенофазовый анализ тонкоизмельченной пробы вермикулита проводился на рентгеновском диффрактометре типа ДРОН–3. Излучение –  $\text{CuK}_\alpha$ , детектор–сцинтиляционный счетчик. Запись проводилась в диапазоне углов  $2\Theta$ –5–70 °С с шагом 0,1°. Идентификация кристаллических фаз проводилась с применением международной картотеки Joint Comite on Powder Diffraction Standart, 2003.

Рентгенограмма тонкоизмельченного вермикулита представлена на рисунке 5.

Установлено, что основными кристаллическими фазами, присутствующими в вермикулитовом концентрате, является вермикулит. Имеются примеси кальцита (0,3035; 0,285; 0,2085 нм), флагопита (0,997; 0,338; 0,313 нм) и в минимальном количестве биотита (1,02; 0,339; 2,618 нм). Диффракционные максимумы, характерные для минералов, не в полной мере отвечают таковым по интенсивности справочным данным, что свидетельствует о несовершенстве структуры присутствующих в вермикулитовом концентрате минералов.

Термогравиметрический анализ проведен с помощью термоаналитической системы TGA/DSC–1/1600 HF фирмы METTLER TOLEDO Instruments (Швейцария) при скорости подъема температуры 10 °С в мин и погрешности ± (1–2) %.



W – вермикулит, Э – энстатит, F – флагопит, В – биотит

**Рис. 5 – Дифрактограмма вермикулита измельченного**

Установлено, что потери массы образцов тонкоизмельченного вермикулита составляют 2,56 % при 96,6 °С, далее при 293,7 °С они составляют 0,23 %, при 634,5 °С – 1,32 %. Эндозффект при 836,1 °С сопровождается потерей массы образца 1,39 %. Максимальная потеря массы происходит при 971,4 °С и составляет 1,66 %. Общая потеря массы образца составляет 7,19 %.

Проведенные исследования показали, что исследуемый вермикулитовый концентрат характеризуется наличием значительных количеств слабо связанной воды, что обуславливает высокую способность сырья к вспучиванию.

#### **Список использованных источников**

1. Термический анализ минералов и горных пород/ В.П. Иванова [и др.]. Л: Недра. – 1974.– С. 52–159.
2. Бердимбетова, Г.Е. Исследование структуры вермикулитовых глин месторождения Тебин-булак/ Г.Е Бердимбетова, В.А. Статов, У. Ерназаров. – Вестник КО АН РУз. – 2002. – № 5–6. – С. 34.
3. Абдигапбаров, А. Характеристики вермикулита Тебинбулакского месторождения РК/ А. Абдигапбаров, Г. Бердимбетова – Вестник КО АН РУз. – 2005. – № 3 – С. 21.

УДК 544.225:661.657.2

<sup>1</sup>А.И. Позняк, <sup>2</sup>М.В. Дяденко, <sup>3</sup>Е.А. Колесников, <sup>3</sup>К.В. Кусков,  
<sup>2</sup>А.В. Поспелов, <sup>3</sup>Н.В. Шплис, <sup>2</sup>А.Г. Сидоревич

<sup>1</sup>Департамент физики и механики материалов,  
Институт Пприме, университет Пуатье

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

<sup>3</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,

## ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ДВУМЕРНЫХ КАРБИДОВ ТИТАНА В ИНЕРТНОЙ И ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДАХ

Максены – новый класс двумерных (2D) карбидов переходных металлов, характеризующихся гексагональной кристаллической решеткой с общей формулой  $M_nX_{n-1}T_x$  (где  $M$  – ранний переходный  $d$ -элемент,  $X$  – атом углерода или азота,  $T_x$  – функциональные группы,  $n = 1 \dots 3$ ) (рисунок 1).

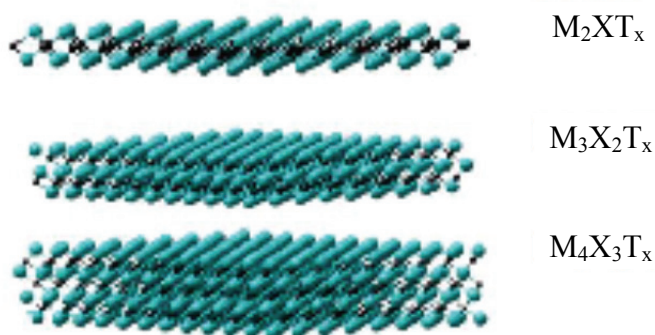


Рис.1. Структура максенов: голубой круг – атом переходного  $d$ -элемента, черный круг – атом углерода или азота

Данные материалы получают методом селективного химического травления А-слоя из прекурсоров – МАХ-фаз. МАХ-фазы – семейство термодинамически стабильных слоистых тройных карбидов и нитридов, сочетающие в себе свойства металлов и керамики с общей формулой  $M_{n+1}AX_n$ , где  $M$  – ранний переходный металл,  $A$  –  $p$ -элемент преимущественно IIIA или IVA группы периодической системы,  $X$  – атом углерода или азота,  $n = 1, 2$  или  $3$  [1]. Получение максенов возможно за счет различной силы связи между атомами элементов в гексагональной кристаллической решетке МАХ-фаз. Между атомами переходного металла и углерода/азота действует сильная ковалентная связь, присущая керамическим материалам, в то время как между переходным металлом и атомом  $p$ -элемента – металлический тип связи. Общая прочность связи между  $M$  и  $X$  выше (5,5–9,2 эВ), чем связь между пе-

реходным металлом и А-атомом (1,0–4,0 эВ) [2]. В зависимости от стехиометрии между структурными единицами в кристаллической структуре материалов, МАХ-фазы могут образовывать три термодинамически стабильных структуры – [211], [312] и [413]. В настоящее время успешно синтезировано и исследовано порядка 20 различных максенов [3], при этом наиболее воспроизводимые результаты получены при травлении  $Ti_3AlC_2$  с наиболее слабой энергией связи между атомами титана и алюминия.

Настоящая работа посвящена синтезу прекурсора для получения максенов в системе Ti–Al–C и изучению стабильности двумерных карбидов титана в инертной и окислительной средах, полученных на основе данной системы.

Синтез прекурсора МАХ-фаз ( $Ti_3AlC_2$ ) осуществлялся путем СВС-измельчения в условиях воздействия температуры с одновременным приложением сдвигового напряжения. Для получения МАХ-фазы использовались элементарные порошки титана, алюминия и углерода. После проведения СВС-реакции полученный материал измельчался до размера частиц 50–60 мкм и использовался в дальнейшем для получения двумерных материалов селективным химическим травлением фторосодержащими реагентами (48% фтороводородная кислота или смесь соляной кислоты с фторидом лития) в течение 24 ч. После химического синтеза полученный двумерный материал ( $Ti_3C_2T_x$ ) тщательно отмывался от продуктов реакции и высушивался в вакууме при температуре  $80 \pm 5$  °С.

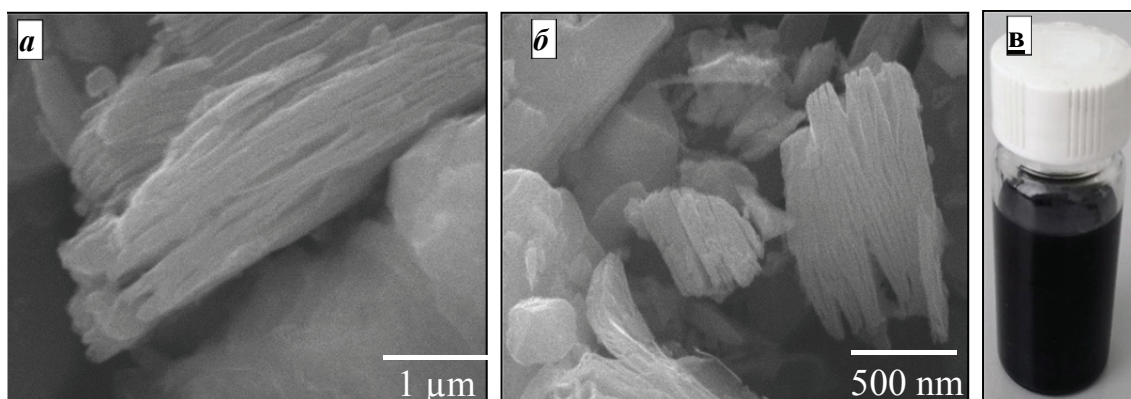
Исходный порошок двумерного карбида титана представлял собой материал с ярко выраженными отдельными слоями (рисунок 2, а–б). После деламинации методом ультразвуковой обработки порошок легко образовывал стабильную коллоидную суспензию черного цвета (рисунок 2, в), что свидетельствует о присутствии отдельных двумерных флейков.

Для проведения исследования окислительной стабильности двумерный материал  $Ti_3C_2T_x$  подвергался термической обработке в инертной атмосфере с одновременным фиксированием эффектов, наблюдаемых при нагревании, методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК).

Результаты изучения химического состава материала  $Ti_3C_2T_x$  до термической обработки показали, что после селективного химического травления и деламинации основные химические элементы распределены равномерно по объему и поверхности материала. В основном материал представлен титаном и углеродом, что соответствует химической формуле и стехиометрии синтезируемого материала. Присутствие



фтора и кислорода обусловлено вытравливанием слоя алюминия из структуры прекурсора МАХ фазы и замещением на функциональные группы фтора, кислорода и гидроксильные группы. Незначительное содержание алюминия в химическом составе может быть вызвано присутствием продуктов синтеза – фторида алюминия  $\text{AlF}_3$ .



**Рис. 2 – Электронно-микроскопические снимки поверхности порошка  $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$  после химического травления при различном увеличении (а, б); фото стабильной коллоидной суспензии  $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$  (в)**

Результаты изучения химического состава материала  $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$  до термической обработки показали, что после селективного химического травления и деляминирования основные химические элементы распределены равномерно по объему и поверхности материала. В основном материал представлен титаном и углеродом, что соответствует химической формуле и стехиометрии синтезируемого материала. Присутствие фтора и кислорода обусловлено вытравливанием слоя алюминия из структуры прекурсора МАХ фазы и замещением на функциональные группы фтора, кислорода и гидроксильные группы. Незначительное содержание алюминия в химическом составе может быть вызвано присутствием продуктов синтеза – фторида алюминия  $\text{AlF}_3$ .

Для проведения исследования окислительной стабильности двумерный материал  $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$  подвергался термической обработке в инертной атмосфере в интервале 20–1000 °С с одновременным фиксированием эффектов, наблюдаемых при нагревании методом ДСК.

Анализ результатов ДСК показал термическую стабильность  $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$  в изученном температурном интервале в инертной атмосфере. Следует также отметить наличие значительного количества эндотермических эффектов, последовательно наблюдаемых при нагревании материала в диапазоне температур 100–1200 °С.

Согласно ДСК, термическая обработка двумерного карбида титана в инертной атмосфере представляет собой в основном процесс

десорбции воды и разрыва связей между поверхностными атомами титана и функциональными группами, которые непрочно связаны с поверхностью материала, и их последующую десорбцию. При этом химических взаимодействий при термической обработки до 950 °С не наблюдается. Соответствующая кривая ДСК в исследованном интервале температур является эндотермической.

После термической обработки химический состав максенов значительно меняется: он представлен преимущественно титаном, углеродом и кислородом. Следует отметить, что при данной температуре отсутствуют функциональные группы фтора, что связано с процессами, описанными выше. Сравнительный анализ химического состава максена до и после термической обработки показывает, что после ее проведения в составе материала значительно увеличилось содержание титана и кислорода при одновременном снижении доли углерода. Это может быть связано с окислением материала при температурах выше 950 °С.

Корреляционный анализ термической обработки  $Ti_3C_2T_x$  от комнатной температуры до 1200 °С в среде воздуха с использованием термогравиметрического анализа, дифференциального температурного анализа и масс-спектропии летучих продуктов реакции отражает следующее: наблюдается десорбция воды, удаление оставшихся адсорбатов и некоторых поверхностных функциональных групп. При температуре выше 350 °С проявляется активное окисление максенов.

В соответствии с результатами ДТА окисление  $Ti_3C_2T_x$  является экзотермическим процессом. Результаты коррелированного термического анализа и масс-спектропии показали, что температура 350 °С является началом активного окисления двумерного карбида титана в среде воздуха. Процесс окисления является ступенчатым, проходит в три стадии с формированием оксида титана.

Таким образом, по результатам проведенных исследований изучена окислительная стабильность двумерного карбида титана в инертной атмосфере и атмосфере воздуха. Показано, что процесс окисления проходит ступенчато в 3 стадии с формированием  $TiO_2$ , при этом начало активного окисления двумерного карбида титана в среде воздуха соответствует температуре 350 °С.

Исследования выполнены в рамках совместного проекта БРФФИ и РФФИ (грант БРФФИ № Т19РМ-042, грант РФФИ № 19-53-04015).

#### **Список использованных источников**

1. Barsoum, M.W. Dislocations, kink bands, and room-temperature plasticity of  $Ti_3SiC_2$  / M.W. Barsoum // Metall. Mater. Trans. – A 30. – 1999. – P. 1727.



2. Khazaei, M. Insights into exfoliation possibility of MAX phases to MXenes / M. Khazaei, A. Ranjbar, K. Esfarjani, D. Bogdanovski, R. Dronskowski, S. Yunoki // (arXiv:1803.00692 [cond-mat.mtrl-sci]).

3. Sun, Y. Two-dimensional MXenes for energy storage and conversion applications / Y. Sun, D. Chen, L. Ziqi // Materials Today Energy. – 2017. – Vol. 5. – P. 22–36.

УДК 611.11.01:537.86

**М.В. Дяденко, А.Г. Сидоревич**

Белорусский государственный технологический университет

### **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СВИНЦОВЫХ РАДИОЗАЩИТНЫХ СТЕКОЛ**

Экранирование электромагнитных полей является актуальной задачей защиты здоровья, информационной безопасности, электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии жилых помещений, защиты помещений для серверов и электронного оборудования. Повышенный уровень электромагнитного излучения (ЭМИ) приводит к нарушению нормальной физиологии человека. В частности, ЭМИ радиочастотного диапазона могут вызывать заболевания нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, изменять показатели крови и обмена веществ. Сверхвысокочастотные (СВЧ) излучения являются наиболее вредными для органов с медленной циркуляцией тепла: тканей головного мозга и глаз.

К категории наиболее опасных источников ЭМИ относятся высоковольтные линии, трансформаторные будки, антенны сотовых сетей.

Основными элементами системы сотовой связи являются базовые станции (БС), которые в зависимости от стандарта излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот 0,5–2,5 ГГц.

В зависимости от стандарта телефона передача ведется в диапазоне частот до 2–3 ГГц. Мощность излучения является величиной переменной и значительно зависит от состояния канала связи «мобильный телефон–базовая станция»: чем выше уровень сигнала БС в месте приема, тем меньше мощность излучения мобильного телефона.

Нормирование электромагнитного поля базовой станции (ЭМП БС) проводится в соответствии с требованиями Санитарных правил и норм «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ)» №2.2.4/2.1.8.9-36-2002, согласно которым в диапазоне частот 0,3–

300 ГГц интенсивность электромагнитного излучения радиочастотного диапазона оценивается значением плотности потока энергии, которая для населения не должна превышать  $10,0 \text{ мкВт/см}^2$ . Гигиенически значимые уровни ЭМП РЧ наблюдаются только в непосредственной близости от передающих антенн БС и от антенн радиорелейной связи, на расстоянии до 10–15 м. В связи с этим техническое оборудование, расположенное на территории передающих радиоцентров, должно предусматривать не только специальные экраны для защиты обслуживающего персонала, но и индивидуальные средства защиты (очки).

Защита от электромагнитного облучения может быть достигнута путем использования радиоотражающих или радиопоглощающих материалов: пористых материалов и стекла.

В настоящее время значительную актуальность приобретают стекла с особым комплексом радиофизических характеристик, предназначенные для высокоэффективного поглощения либо отражения электромагнитных излучений, именуемые радиозащитными.

К ним предъявляются следующие требования: суммарная величина поглощения и отражения электромагнитного излучения радиочастотного диапазона должна составлять не менее 1,0 дБ/мм, тангенс угла диэлектрических потерь должен характеризоваться высокими значениями.

Разработанные в рамках данной работы радиозащитные стекла предназначены для получения линз при изготовлении очков специального назначения. Учитывая ассортимент выпускаемой продукции (специальные защитные очки) на основе радиозащитного стекла разработанного состава, определяющим в вопросе ослабления электромагнитного излучения является ее отражение, которое определяется значением коэффициента стоячей волны, зависящего в свою очередь от плотности материала, в данном случае стекла. Это объясняется тем, что в случае поглощения электромагнитного излучения стеклом часть ее энергии будет преобразовываться в тепловую, вызывая некоторый разогрев стекла, а это свою очередь будет доставлять определенный дискомфорт сотруднику, использующему защитные очки на его основе.

В качестве основы для получения радиозащитных стекол выбрана система  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{PbO}-\text{B}_2\text{O}_3$ . Ее выбор обусловлен присутствием в ней оксидов щелочных элементов, которые способствуют ослаблению электромагнитного излучения СВЧ-диапазона, так как они вызывают рост диэлектрических потерь за счет деполимеризации структурной сетки стекла и образования немостиковых атомов кислорода.

Важным фактором, определяющим получение качественных изделий на основе стекла является его устойчивость к фазовому разделению, в частности к кристаллизации.

Для оценки кристаллизационной способности опытных стекол проведена их градиентная термообработка при максимальной температуре 760 °С с выдержкой при ней 1 ч. По данным результатов исследования установлено, что образцы, включающие 60–75 % PbO, проявляют признаки объемной кристаллизации в интервале температур 400–760 °С.

Как известно [1], возможность использования радиозащитных стекол на практике зависит от массы готовых изделий, которая определяется плотностью стекла. Кроме того, плотность является одним из факторов определяющих величину коэффициента стоячей волны (КСВ): чем плотнее структура стекла, тем больше количество электромагнитного излучения может быть отражено стеклом.

По результатам исследований выявлено, что определяющее влияние на величину плотности опытных стекол оказывает оксид PbO. Так как плотность стекол определяется атомной массой элементов, то при увеличении содержания оксида свинца данный показатель для опытных стекол возрастает.

При эквимольной замене ZnO на B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> плотность опытных стекол снижается. Как известно [2], переход к более высокому координационному числу приводит к уплотнению упаковки ионов, экономии структурного пространства, уменьшению удельного объема, в связи с чем показатель плотности увеличивается. При повышении содержания B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> взамен ZnO доля трехкоординированного бора увеличивается, а четырехкоординированного бора – уменьшается, что вызывает снижение плотности стекол. Наиболее оптимальной с точки зрения получения радиозащитных стекол является область, включающая, %: 55–60 PbO, 20–25 ZnO, 15–20 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Радиофизические свойства стекол (показатель ослабления, КСВ) оценивались волноводным методом в диапазоне частот 1–3 ГГц.

Показатель ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона опытных стекол изменяется в пределах 0,48–2,90 дБ/мм, а коэффициент стоячей волны – 0,35–1,13 дБ/мм.

Коэффициент стоячей волны (КСВ) характеризует отражательную способность электромагнитной волны: чем выше его значение, тем интенсивнее отражение электромагнитного излучения СВЧ-диапазона.

При эквимольных заменах ZnO на PbO, ZnO на B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и PbO на B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> во всех случаях наблюдается следующая зависимость. С ростом частоты электромагнитного поля от 1,84 до порядка 2,4 ГГц наблюдается рост показателя КСВ, а при дальнейшем повышении частоты до 2,98 ГГц – его уменьшение.

При этом рост содержания таких оксидов как B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZnO в опытных составах стекол вызывает смещение максимума на кривых КСВ в

область более низких частот. Кроме того, чем ниже содержание оксидов ZnO и PbO, тем менее выражен экстремум в области частоты 2,4 ГГц.

Величина показателя поглощения в СВЧ-области зависит от величины диэлектрических потерь (потерь проводимости, релаксационных и деформационных потерь), которые определяются главным образом химическим составом и структурой стекла.

В случае зависимости показателя ослабления электромагнитного излучения опытными стеклами от частоты прилагаемого электромагнитного поля ситуация обратная: с ростом частоты электромагнитного поля от 1,84 до значений порядка 2,5 ГГц наблюдается уменьшение показателя ослабления, а от в диапазоне 2,50–2,98 ГГц – его рост.

При этом чем выше содержание  $V_2O_3$ , тем менее выражен экстремум в области частот 2,3–2,5 ГГц. При этом рост содержания  $V_2O_3$  вызывает незначительное смещение максимума на кривых в область более высоких частот.

Часть проходящей через стекло электромагнитной энергии рассеивается в виде потерь проводимости, вызываемых в основном сквозным движением ионов в стекле и его нагревом. Эти потери характеризуются тангенсом угла диэлектрических потерь. Тангенс угла диэлектрических потерь характеризует способность материала рассеивать энергию под воздействием на него электрического поля. Тангенс угла диэлектрических потерь опытных стекол в зависимости от частоты электромагнитного поля изменяется от 0,32 до 3,10.

Стоит отметить, что для опытных стекол всех составов с ростом частоты электромагнитного поля от 1,84 до 2,28 ГГц наблюдается резкое уменьшение величины тангенса угла диэлектрических потерь, а при дальнейшем повышении частоты до значений 2,98 ГГц – незначительный его рост.

По результатам проведенных исследований установлена оптимальная область составов радиозащитных стекол, которая в максимальной степени отвечает предъявляемым к ним требованиям. Стекла данных составов могут быть рекомендованы для изготовления очковых линз, используемых в специальных очках, предназначенных для снижения воздействия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на органы зрения персонала, обслуживающего базовые станции систем сотовой связи.

#### **Список использованных источников**

1. Павлушкин, Н. М. Химическая технология стекла и ситаллов / Н.М. Павлушкин. М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
2. Аппен, А.А. Химия стекла / А.А. Аппен. – М.: Химия, 1974. – 360 с.

**ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖОМА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

На территории Республики Беларусь, помимо наличия собственного сектора по нефтедобыче и нефтепереработке, существует интенсивный транспорт нефти и нефтепродуктов в различные страны. Все это приводит к увеличению количества чрезвычайных ситуаций, связанных с разливами нефти. Среди сорбентов, применяемых для ликвидации разливов, известны обработанные отходы сельского хозяйства [1].

Сахарная промышленность является одной из крупнейших отраслей сельскохозяйственной промышленности Российской Федерации и Республики Беларусь. Высокий урожай сахарной свеклы в Союзном государстве – предмет гордости аграриев. Производство сахара является источником значительного количества таких вторичных ресурсов, как свекловичный жом, меласса, фильтрационный осадок, рафинадная патока, свекловичный бой, хвостики свеклы и др. [2]. При среднем выходе сахара 12–13 % образуется 80–83 % сырого свекловичного жома. Низкая доля переработки вторичных сырьевых ресурсов приводит к их накоплению, неконтролируемому разложению с образованием токсичных продуктов, нарушению экологического баланса, а также значительным финансовым затратам на вывоз неиспользуемых отходов в отвалы и свалки. Поэтому жом сахарной свеклы может стать отличным «рециклатом» возобновляемых местных источников отходов.

Одним из направлений переработки вторичного растительного сырья является получение на их основе функциональных материалов для очистки водных и почвенных сред от нефти и нефтепродуктов. Создание сорбционных материалов на основе растительного сырья поможет частично решить проблему утилизации накопленных отходов.

Использование необработанных растительных отходов для сбора нефти позволяет значительно снизить стоимость сорбционных материалов. Авторы установили, что сорбционная емкость необработанного жома сахарной свеклы (ЖСС) составляет  $\approx 1,16$  г/г. Как следствие, существует необходимость улучшения сорбционных свойств растительных материалов.

Для улучшения гидрофобно-олеофильных свойств сырья используют химическую обработку. Исходный материал подвергают воздействию определенных химических реагентов: неорганических кислот ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ), органических кислот ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ), гидроксидов щелочных металлов ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ) или неорганических солей ( $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). Процесс химической активации экономичен и проводится при более низких температурах [3]. Авторы провели модификацию свекловичного жома водными растворами кислот  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  с последующей сушкой. Согласно результатам эксперимента, полученный материал обладает нефтеемкостью 1,20–1,95 г/г, что говорит о незначительном увеличении этого показателя по сравнению с необработанным жомом. Данный способ также не позволил решить проблему отсутствия плавучести материала после сорбции нефтепродукта.

Использование термического способа модификации ЖСС при различных температурных режимах показало незначительный рост показателя нефтеемкости с увеличением температуры процесса. Нефтеемкость продукта увеличилась до 3,39 г/г после карбонизации в муфельной печи при температуре  $500^\circ\text{C}$ . Также зафиксировано усиление гидрофобных свойств материала. Несмотря на улучшение свойств относительно исходного сырья, полученные таким образом материалы не могут обеспечить эффективную очистку от нефти и не являются конкурентоспособными по сравнению с промышленными аналогами.

Авторами предложен способ модификации органическим растворителем с последующей модификацией путем выжигания. При использовании подобного подхода происходит карбонизация внутренних стенок структуры жома, что позволяет уменьшить усадку материала [4]. Данный способ обработки позволяет увеличить свободное пространство в структуре модифицированного материала, что положительно сказывается его сорбционных свойствах.

Полученный материал обладает селективностью по отношению к нефти и нефтепродуктам, его гидрофобно-олеофильные свойства достаточны для удержания на поверхности воды после сорбции. Показатель нефтеемкости продукта составляет 16 г/г, что является конкурентоспособным значением по показателю нефтеемкости среди материалов природного происхождения.

При сравнении с материалами, применяемыми на территории Российской Федерации (таблица 1), можно сделать вывод, что полученный авторами сорбент может быть использован при ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов.

**Таблица 1 – Сравнительная таблица сорбирующих материалов**

№	Марка	Нефтеемкость г/г
1.	Лессорб-Экстра	7-10
2.	Сорбойл	8
3.	Новосорб	4
4.	Модифицированный ЖСС	14-16

Использование полученного авторами сорбента является выгодным решением на территории Российской Федерации и Республики Беларусь, поскольку данный продукт получен из отходов сельскохозяйственной промышленности, что способствует решению проблемы накопления отходов этой отрасли.

#### **Список использованных источников**

1. Бобрышева, С. Н. Применение минеральных отходов в состав адсорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти / С.Н. Бобрышева, М.М. Журов, И.М. Вертячих Л.О. Кашлач // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2015. – № 1 (10). – С. 120–128.

2. Демина, Н.В. Возможность использования вторичных сырьевых ресурсов свеклосахарного производства для дальнейшей переработки // Научный журнал КубГАУ. – 2006. – № 21. – С.15–17

3. Recent advances in utilization of biochar. Renew / K. Qian, A. Kumar, H. Zhang, D. Bellmer, R. Huhn / Renewable & Sustainable Energy Reviews. – 2015. – P. 1055–1064.

4. Получение сорбирующего материала на основе жома сахарной свеклы / С.В. Мещеряков, И.С. Еремин, Д.О. Сидоренко, М.С. Котелев, Е.А. Зайцева, А.Е. Лаврентьев // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2019. – № 6. – С. 8–11.

УДК 621.642.37

**Н.Н. Исачкин**

Тюменский индустриальный университет

#### **БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНОГО РЕЗЕРВУРА ПО КРИТЕРИЮ ИСПАРЯЕМОСТИ ПРОДУКТА**

Резервуары для хранения на нефтеперерабатывающих и химических заводах содержат большие объемы горючих химических веществ. Небольшая авария может привести к существенным материальным затратам и прекращению эксплуатации объекта на длительный период.

Пожар и взрыв составляют 85% аварий в резервуарных парках. В резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов процесс «активного дыхания» возникает в результате расширения жидкости, происходящего, когда резервуар поглощает тепло от внешнего источника тепла, которым может являться пожар на соседнем объекте.

Большинство резервуаров оснащены устройствами, позволяющими отводить пары – дыхательные клапана. Устройство для сброса давления или система аварийной вентиляции должны быть пригодны для снижения пропускной способности, необходимой для непредвиденных ситуаций или любого вероятного сочетания инцидентов [1].

Детальные исследования конкретных резервуаров и условий их эксплуатации могут указывать на то, что зачастую соответствующие вентиляционные параметры резервуаров не соответствуют расчетным.

Цель этой статьи – представить и обсудить некоторые методы, которые можно использовать для оценки потока газовой смеси. Подход предлагается следующий: сначала исследуется термический аналитический подход, затем применяется численный метод, основанный на описании конечного объема. На основе термодинамических гипотез, наконец, предлагается упрощенный метод, позволяющий оценить количество выделяющейся газовой смеси.

Были проведены расчеты для цилиндрического резервуара ( $R = 6$  м,  $h = 20$  м), подверженного классическому пожару ( $20$  кВт / м<sup>2</sup>). Начальная температура системы была принята равной  $20$  °С. Резервуар снабжен одним клапаном диаметром 5 см. Температура в данном случае возрастает линейно, благодаря эквивалентной гипотезе проводимости и постоянному тепловому потоку. Упрощенное моделирование дает ожидаемые значения средней температуры жидкости. С другой стороны, внутреннее среднее давление возрастает экспоненциально, благодаря закону Клапейрона и повышению температуры. В этом случае и в этих условиях мы можем заметить, что скорость образования внутреннего пара выше, чем поток пара через клапан PV [2].

Знание термического поведения резервуаров для хранения нефти необходимо для оценки потоков пара. Эти данные не могут быть легко определены с помощью аналитических методов. С другой стороны, численное моделирование может привести к громоздким, сложным вычислениям, особенно из-за изменения фазовых состояний. Представленный здесь метод позволяет довольно легко исследовать термодинамические свойства ( $T, P$ ) жидкости, предполагая упрощенное моделирование.

Основные положения предложенного подхода могут быть интегрированы в автоматизированные компьютерные инструменты, используемые для количественной оценки рисков в нефтяной промышленности.



## **Список использованных источников**

1. ASME. Pressure relief devices boiler & pressure vessel code, section VIII, division 1, rules for construction of pressure vessels, ASME, PTC 25.
2. Коган, В.Б. Равновесие между жидкостью и паром. / Коган В.Б., В.М. Фридман, В.В. Кафаров – М.: Наука, 1966. – 645 с.

УДК 676.262

**С. В. Карпова, О. А. Мисюров, Н. В. Черная,  
Т. В. Чернышева, Е. П. Шишаков**

Белорусский государственный технологический университет

## **ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО СВЯЗУЮЩЕГО В ТЕХНОЛОГИИ МЕЛОВАННЫХ ВИДОВ БУМАГИ И КАРТОНА**

Современная тенденция развития бумажного и картонного производства характеризуется необходимостью улучшения качества выпускаемой продукции при одновременном снижении ее себестоимости. Это направление относится к производству широкого видов бумаги и картона. Особую актуальность имеют нерешенные проблемы в технологии мелованных видов бумаги и картона. Это связано с тем, что в составах меловальных паст используют вещества природного происхождения. К их числу относятся различные виды крахмал и продукты их модификации, натрийкарбоксиметицеллюлоза и казеиновый клей. Эти вещества играют роль «связующих», во-первых, между частицами пигментов, когда они участвуют в когезионных взаимодействиях, и, во-вторых, между мелованным (пигментным) слоем и поверхностью бумаги-основы и картона-основы, когда они участвуют в адгезионных взаимодействиях.

Однако природные связующие снижают срок хранения приготовленных меловальных составов из-за нежелательного роста микроорганизмов, а также способствуют ухудшению реологических свойств этих составов из-за повышения их вязкости.

Поэтому нерешенной актуальной проблемой в настоящее время остается проблемы замены в меловальных составах природных связующих на синтетические.

Отсутствие в научной и технической литературе информации об альтернативной замене природных связующих на синтетические обуславливает актуальность настоящей работы с научной и практической точек зрения.

К перспективным соединениям, способным проявлять связующее действие при когезионных и адгезионных взаимодействиях, протекающих при меловании бумаги и картона, относится, по нашему мнению [1], карбамидоформальдегидный олигомер. Это соединение впервые синтезировано на кафедре химической переработки древесины БГТУ. В отличие от природных связующих карбамидоформальдегидный олигомер дополнительно содержит положительно заряженные азотсодержащие группы, способные, по нашему мнению, участвовать в когезионных и адгезионных взаимодействиях с отрицательно заряженными частицами пигментов и активными центрами (гидроксильными группами) целлюлозных волокон соответственно. Улучшение протекающих взаимодействий должно способствовать не только повышению качества мелованных видов бумаги и картона, но и решению актуальной проблемы – замена комплекса природных связующих (крахмал и продукты его модификации, натрийкарбоксиметицеллюлоза и казеиновый клей) на одно синтетическое (карбамидоформальдегидный олигомер).

Цель работы – изучение свойств мелованных образцов бумаги и картона в зависимости от рецептуры пигментных составов за счет замены в них природных связующих на синтетические.

Предметом исследования являлся процесс мелования бумаги и картона, включающих протекающие когезионные и адгезионные взаимодействия присутствующих компонентов.

Объектом исследования являлись образцы меловальных составов, отличающиеся содержанием традиционно используемых природных (окисленный крахмал, натрийкарбоксиметицеллюлоза и казеиновый клей) и нового синтетического (карбамидоформальдегидный олигомер) связующих, и полученные с их использованием мелованные образцы бумаги и картона.

Образцы меловальных составов готовили в лабораторных условиях по стандартной методике в емкости ( $1000 \text{ см}^3$ ), оснащенной перемешивающим устройством (300 оборотов в минуту), путем последовательного смешивания расчетных количеств ее компонентов, мас. ч.: каолин – 85, кальция карбонат – 15, латекс синтетический каучуковый – 16–32, крахмал окисленный – 2, натрийкарбоксиметилцеллюлоза – 2, казеиновый клей – 2, карбамидоформальдегидный олигомер – 2, диспергатор (гексаметафосфат натрия) – 0,3, антисептик – 0,1, стабилизатор (стеарат кальция) – 1, пеногаситель (аэросил) – 0,005, оптический отбеливатель – 0,2, регулятор pH (натр едкий) – 1. При этом синтетический каучуковый латекс (далее – латекс) являлся обязательным компонентом в меловальных составах благодаря тому, что он не только усиливает связующее

действие применяемых соединений, но и дополнительно предотвращает нежелательное повышение вязкости этих составов.

Приготовленные меловальные составы наносили на поверхность бумаги-основы ( $80 \text{ г/м}^2$ ), которые одновременно моделировали элементарные слои полиграфического картона марок FBB и SBB. Немелованный полиграфический картон получают, как правило, из целлюлозы беленой (покровный и основной слои) и беленой термомеханической массы БХТММ (средний слой). Эта технология является традиционной. По ней работают ведущие зарубежные производители. Полиграфический картон марки FBB изготавливают из целлюлозы беленой (покровный и основной слои) и БХТММ (средний слой), а марки SBB – все три слоя получают из беленой целлюлозы.

Мелованные образцы бумаги и картона получали на специальной установке, оснащенной регулируемой системой нанесения пигментного состава на поверхность бумаги-основы и картона-основы. Массовая нагрузка мелованного покрытия была постоянной и составляла  $30 \text{ г/м}^2$ . Испытание образцов бумаги и картона, полученных по существующей (использовали природные связующие) и исследуемой (применяли синтетическое связующее) технологиям, осуществляли на современных приборах по стандартным методикам. Для анализируемых образцов бумаги и картона определяли разрывную длину на горизонтальной разрывной машине «Lorentz & Wetter», белизну по ISO 2470-1999, впитываемость воды при одностороннем смачивании ( $\text{Кобб}_{60}$ ) по ISO 1974-1990 и гладкость поверхностного слоя по ISO 8791-4-1992. Эти показатели являются регламентируемыми и должны составлять: разрывная длина – не менее 5000 м, белизна – не менее 80%, впитываемость воды при одностороннем смачивании ( $\text{Кобб}_{60}$ ) – не более  $30 \text{ г/м}^2$  и гладкость – не менее 80 с.

Результаты испытаний мелованных образцов бумаги и элементарных слоев картона представлены в таблице.

Для сравнения в таблице приведены значения разрывной длины исходных образцов бумаги ( $80 \text{ г/м}^2$ ) и элементарных слоев картона ( $80 \text{ г/м}^2$ ) без пигментных составов. Они составляют в продольном и поперечном направлениях 5000 и 1500 м соответственно.

Получено, что при идентичном содержании (2 мас. ч.) исследуемых трех видов природных и нового синтетического (карбамидоформальдегидный олигомер) связующих прочность исследуемых образцов бумаги и элементарных слоев картона существенно отличается. Это можно объяснить прежде всего отличительными особенностями структуры применяемых исследуемых связующих и участием последних в когезионных и адгезионных взаимодействиях.

**Таблица – Качество мелованных образцов бумаги и элементарных слоев картона в зависимости от природы и содержания соединений в пигментных составах**

Номер пигментного состава	Содержание соединений, мас. ч.		Разрывная длина, м	
	связующее	латекс	в продольном направлении	в поперечном направлении
Состав 1	Модифицированный крахмал – 2	16	5050	2850
Состав 2		24	5580	2810
Состав 3		32	5510	2670
Состав 4	Натрийкарбоксиметилцеллюлоза – 2	16	6450	4120
Состав 5		24	6310	3790
Состав 6		32	5790	2910
Состав 7	Казеиновый клей – 2	16	4980	2650
Состав 8		24	3890	3170
Состав 9		32	3570	1760
Состав 10	Карбамидоформальдегидный олигомер – 2	16	7770	4350
Состав 11		24	6590	3770
Состав 12		32	5550	2470
	–	–	5100	1500

Модифицированный крахмал способен увеличивать только разрывную длину от 1500 до 2670–2810 м (в 1,8–1,9 раза) в поперечном направлении. Его связующее действие проявляется наиболее заметно при содержании в пигментном составе латекса в количестве 24 мас. ч., о чем свидетельствует повышение разрывной длины от 5000 до 5580 м (на 10–12%) в продольном направлении и от 1500 до 2810 м (в 1,9 раза) в поперечном направлении.

Натрийкарбоксиметилцеллюлоза является эффективнее, чем модифицированный крахмал. Лучшие показатели достигаются при снижении содержания латекса в пигментном составе от 24 до 16 мас. ч. Разрывная длина составляет 6450 и 4120 м в продольном и поперечном направлениях соответственно.

Казеиновый клей уступает модифицированному крахмалу и натрийкарбоксиметилцеллюлозе в 1,2 и 1,4 раза соответственно.

Установлено, что карбамидоформальдегидный олигомер по своему когезионному и адгезионному воздействию превосходит исследованные три вида природных соединений в 1,3–1,7 раза, о чем свидетельствует дальнейшее повышение разрывной длины до 7770 и 4350 м в продольном и поперечном направлениях соответственно.

Таким образом, показана целесообразность применения нового синтетического связующего (карбамидоформальдегидного олигомера) в технологии мелованных видов бумаги. Он эффективнее известных

природных соединений (окисленный крахмал, натрийкарбоксиметицеллюлоза и казеиновый клей) в 1,3–1,7 раза.

### **Список использованных источников**

1. Карпова, С. В. Изучение свойств мелованной бумаги при замене природного связующего на новое синтетическое / С.В. Карпова, Н.В. Черная // Химия и химическая технология переработки растительного сырья : материалы докладов Междунар. научно-техн. конф., Минск, 10–12 октября 2018 г. – Минск: БГТУ. – 2018. – С. 187–191.

УДК 678.073:662.613.12

**Д. Ю. Колодкин, Е. И. Кордикова**

Белорусский государственный технологический университет

## **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ ПО FDM-ТЕХНОЛОГИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУЧАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ИХ АНИЗОТРОПИИ**

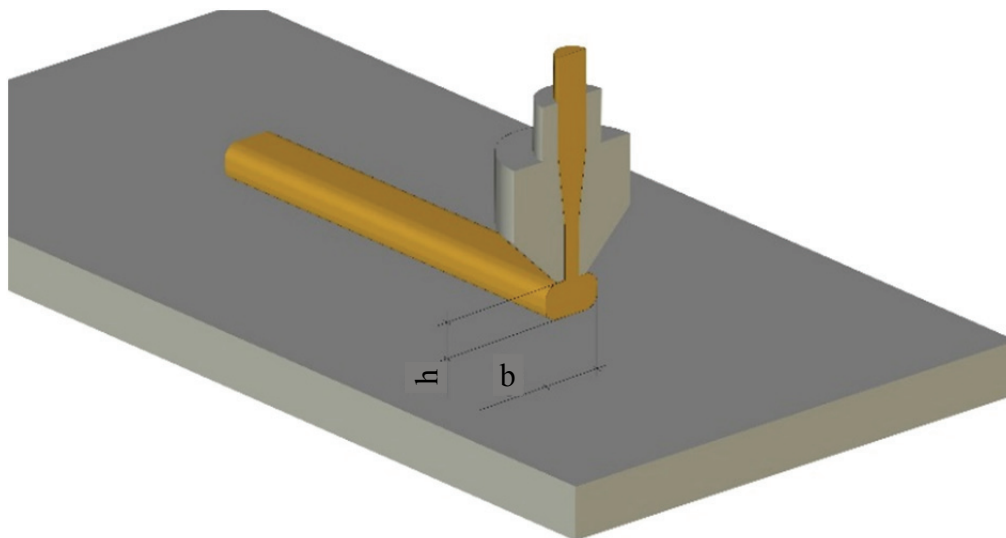
В настоящее время существует множество направлений аддитивных технологий, использующих различные подходы в формировании слоя, подвода энергии и другое [1]. Наиболее распространенной из них, в первую очередь благодаря простоте и низкой стоимости, является FDM-технология (Fused deposition modeling – моделирование методом послойного направления), в которой объект строится слой за слоем путем наплавления термопластичного полимера.

Однако данная технология имеет ряд недостатков, связанных с конструкцией оборудования, программным обеспечением, разработкой и совершенствованием материалов, а также подбором оптимальных технологических параметров печати.

Одним из наиболее исследованных направлений является нахождение оптимальных технологических параметров синтеза [2], т.к. это позволяет получить наилучший результат печати изделий без дополнительных вложений в оборудование только за счет управления процессом, а также не требует больших финансовых затрат.

Несмотря на это в ходе аналитического обзора было выявлено, что такой важный параметр, как ширина дорожки экструзии (рис. 1), не был исследован и принимался рекомендованным или вообще никак не учитывался в других исследованиях [2].

При этом параметры дорожки экструдата не только влияют определяющим образом на скорость печати и структуру получаемых изделий, но и на величину адгезионного взаимодействия между самими дорожками, что определяет величину анизотропии материала.



$b$  – ширина дорожки экструзии;  $h$  – высота дорожки экструзии (толщина слоя)

**Рис. 1 – Параметры элементарной дорожки экструдата**

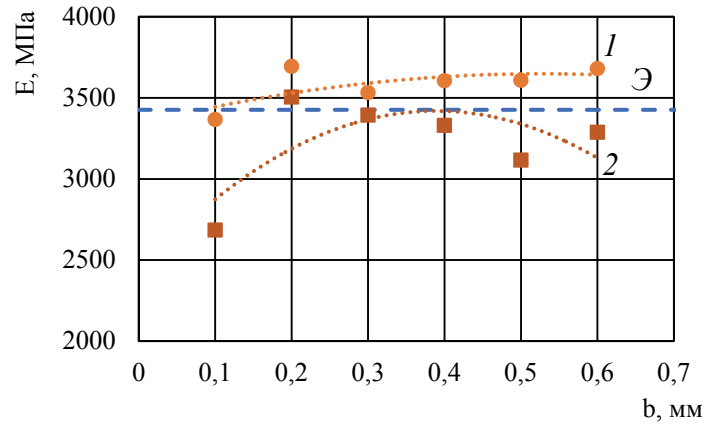
Для получения зависимости физико-механических характеристик получаемых материалов от параметров дорожки экструдата в их широком диапазоне, изготавливали стандартные образцы в двух основных направлениях печати (табл. 1) и образцы сплошного материала из исходного сырья для сравнения.

**Таблица 1 – Управляемые технологические параметры**

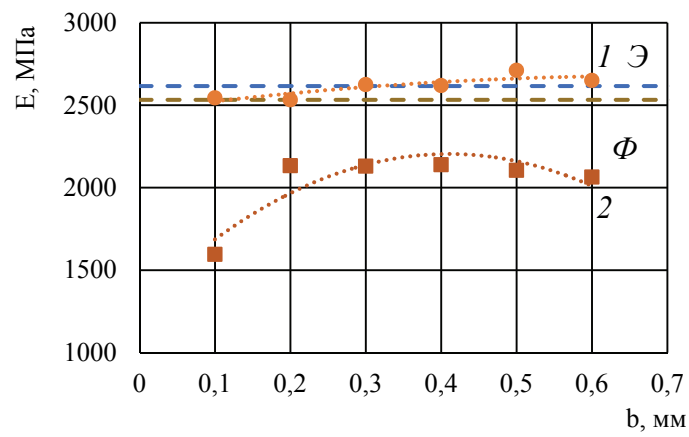
Толщина слоя $h$ , мм	0,05		0,10		0,30		0,60	
Ширина слоя $b$ , мм	0,15	0,25	0,10	0,20	0,10	0,20	0,30	0,45
	0,35	0,45	0,30	0,40	0,30	0,45	0,60	0,85
	0,55	0,65	0,50	0,60	0,60	0,75	1,10	1,35
					0,90	1,05		

В ходе испытаний образцов были получены зависимости с характерными пиками, соответствующими максимальным физико-механическим характеристикам (рис. 2).

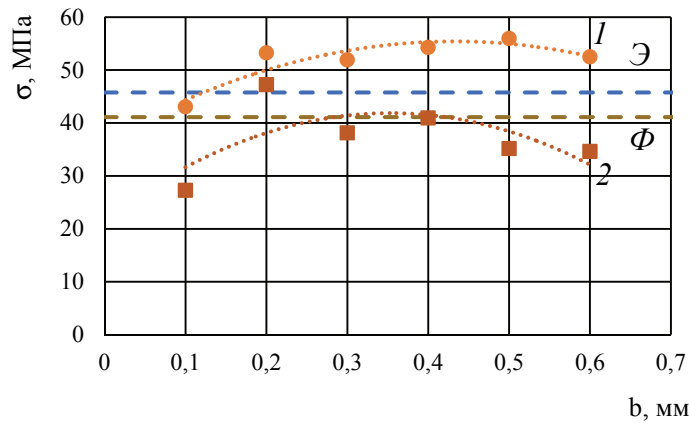
Полученные зависимости для всех параметров дорожки экструдата были аппроксимированы с помощью метода наименьших квадратов и после пересчитаны в безразмерные физико-механические характеристики (БФМХ) в относительных величинах для их сравнения (рис. 3).



*a*



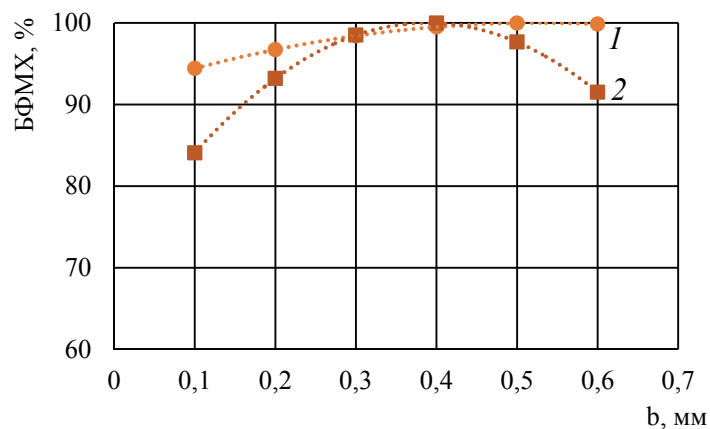
*б*



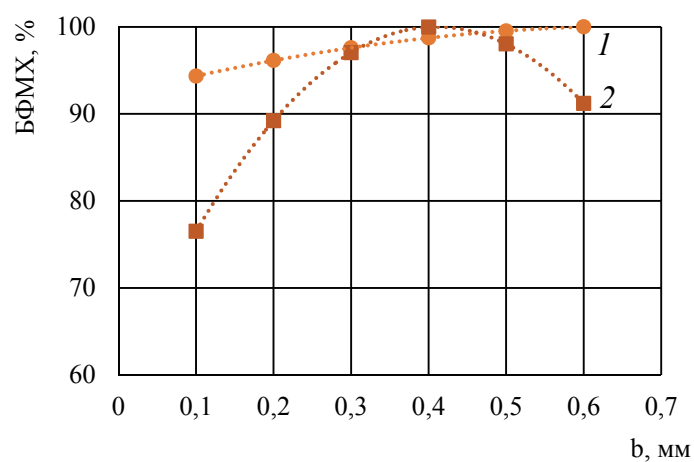
*в*

Э – испытание единичного экструдата;  $\Phi$  – испытание филамента;  
 1 – образцы с продольным направлением печати;  
 2 – образцы с поперечным направлением печати;

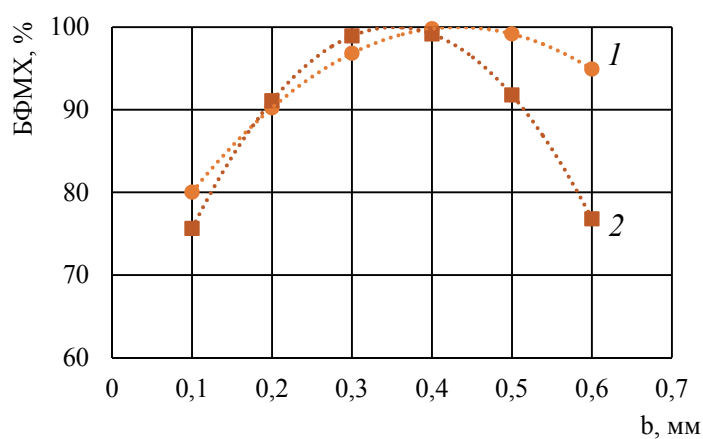
**Рис. 2 – Модули упругости при изгибе (а) и растяжении (б), а также прочность при растяжении (в) набора образцов с толщиной слоя 0,10 мм**



*a*



*б*



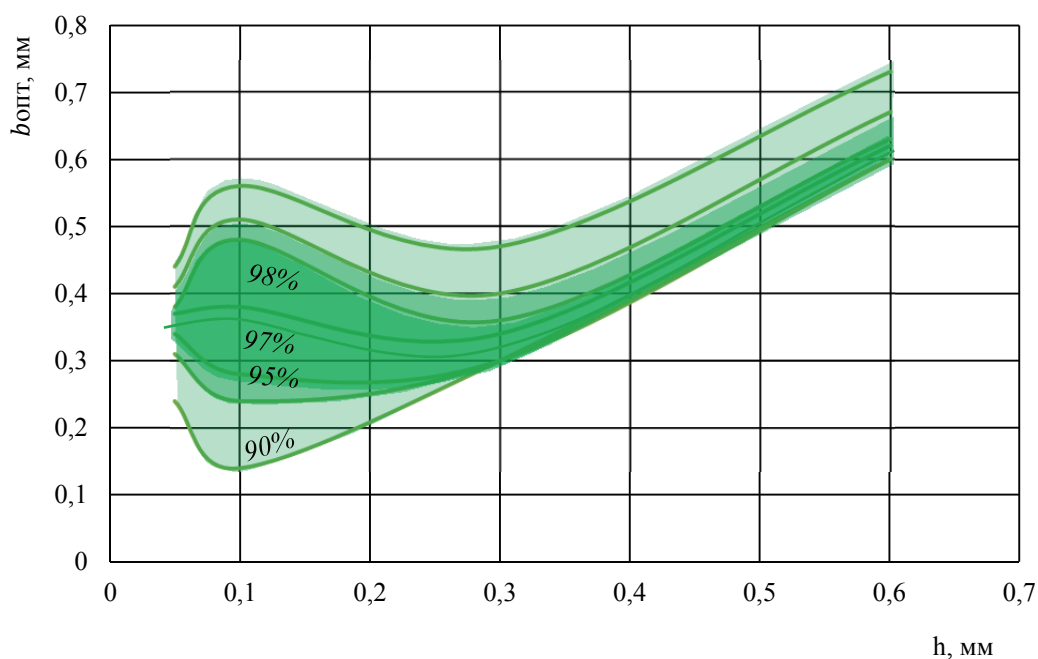
*в*

1 – образцы с продольным направлением печати;  
 2 – образцы с поперечным направлением печати;

**Рис. 3 – БФМХ при изгибе (а) и растяжении (б), а также для прочности при растяжении (в) набора образцов с толщиной слоя 0,10 мм.**



Результатом сравнения БФМХ различных испытаний с сохранением определенной (высокой) доли от них стала диаграмма, изображенная на рисунке 4.



**Рис. 4 – Зависимость оптимальной ширины дорожки экструдата от толщины слоя**

В ней наиболее тусклой области сохраняется 90% всех исследуемых механических характеристик, а наилучший достижимый результат – это 98%.

Можно сделать вывод, что нахождение оптимальных параметров печати является эффективным методом улучшения механических характеристик получаемых изделий. Полученный результат достаточно хорошо согласуется с параметрами печати, рекомендованными производителями принтеров. Кроме того, результаты исследований позволяют увеличивать скорость печати за счет параметров дорожки экструдата при контролируемом снижении механических характеристик изделий.

#### **Список использованных источников**

1. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.

2. Sung Hoon Ahn, Michael Montero, Dan Odell, Shad Roundy, Paul K. Wright. Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. Rapid Prototyp J 8(4): 248–284.

## **ПЕРЕРАБОТКА КОЖЕВЕННЫХ ОТХОДОВ: ВТОРИЧНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

В связи с ужесточением требований к экологическому состоянию промышленных предприятий, проблема переработки кожевенных отходов приобретает все большее значение. Наибольший объем приходится на материалы типа wet-blue и отходы конечного продукта – цветную кожу. Материалы отличаются по своему внешнему виду, размерам и физическим свойствам. Положительные стороны таких полуфабрикатов – высокая термостойкость и износостойкость. Одним из возможных направлений рециклинга является их использование в качестве наполнителей для композиционных материалов на основе термопластичных и терморезактивных полимеров для получения изделий с определенным набором эксплуатационных характеристик.

В результате последовательных операций сушки, измельчения и дробления получают материал с различным размером частиц в диапазоне от 2 до 10 мм. В зависимости от требуемого размера частиц возможно применение измельчительного оборудования различной мощности и принципа действия. Измельченные отходы кожевенных материалов отличаются однородностью состава, удовлетворительными показателями сыпучести и насыпной плотности [1].

Для оценки эффективности использования твердых отходов в качестве наполнителей изучены их состав, структура и вид, а также степень их влияния как на физико-механические, так и на технологические свойства композиций на их основе.

Одним из наиболее распространенных методов переработки ненаполненных и наполненных термопластичных полимерных материалов является *литье под давлением*. Метод позволяет получать различные по конфигурации изделия, однако его применение ограничивается степенью наполнения неплавкими компонентами и их размерами. Для исключения забивания литьевой втулки, предпочтительно применять материал с размером неплавких частиц до 2 мм.

Наиболее эффективной технологией переработки вторичных материалов, в том числе наполненных частицами с размерами до 10 мм, является прессование изделий из предварительно пластицированной композиции в охлаждаемой оснастке, называемой *пласт-формованием* [2]. Данная технология позволяет минимизировать влияние существенной

неоднородности сырья по структуре и составу. Одним из достоинств метода является возможность переработки высоконаполненных неоднородных по составу отходов, обладающих высокой вязкостью в расплавленном состоянии.

Третьим методом, который подходит для переработки смешанных полимерных отходов в изделия является *технология ВМС* – способ формования полимерных композиционных изделий из премиксов методом прямого прессования. В качестве связующего компонента может быть использован любой тип термореактивного полимера, в том числе содержащий загустители или доведенный до определенной степени желатинизации. В данном случае возможно предварительное производство полуфабрикатов (премиксов). Исходя из требований к эксплуатационным показателям материала в изделиях возможно применение измельченных отходов различной степени измельчения. Ввиду низких показателей текучести получаемого «премикса», усилие прессования определяется не по критерию заполнения формообразующей полости, а из требований качества материала и поверхности изделий. Материал в изделиях характеризуется высокой степенью однородности, минимальной пористостью. Поверхность изделия гладкая со всех сторон, высокая точность размеров.

В лабораторных условиях получены образцы материала по перечисленным технологиям и проведены физико-механические испытания. Результаты представлены в таблице. На основании представленных в таблице данных можно судить о возможных областях применения получаемых изделий.

#### Физико-механические свойства материалов (степень наполнения – 20–40% мас.)

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при растяжении, МПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа
КМ полученный методом литья под давлением	1,25–1,28	10,2–11,2	1,1–1,5
КМ полученный методом пласт-формования	1,1–1,2	8,5–9,6	0,87–0,95
КМ типа ВМС	1,5–1,6	24,8–35,2	8,2–14,5

Методом литья под давлением можно изготавливать простые негабаритные изделия технического назначения, например, трубная арматура, переходники, втулки, элементы крепления, заглушки, крышки (рисунок, *а*). Такие изделия как элементы системы литейного водоотвода, негабаритные поддоны и короба, тротуарная плитка можно получить методом пласт-формования (рисунок, *б*). Из полиэфирного

премикса можно производить изделия строительного назначения: элементы люка канализационного, опалубка для архитектурных элементов, теплоизолирующие элементы, тротуарная плитка (рисунок, в).

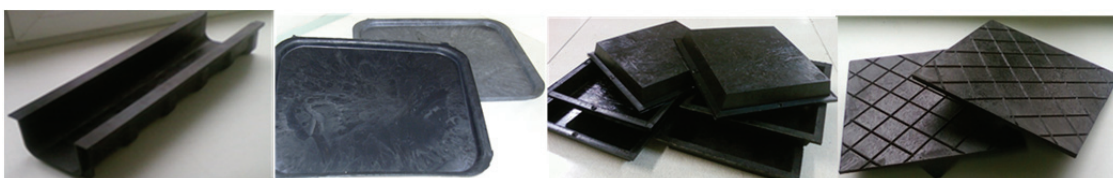


трубная арматура,  
переходники

втулки различного  
назначения

крепления, заглушки,  
крышки

*а*



элемент системы  
литейного  
водоотвода

негабаритные  
поддоны

негабаритные  
короба

тротуарная плитка

*б*



элементы люка  
канализационного

опалубка для  
архитектурных  
элементов

теплоизолирующие  
элементы

тротуарная плитка

*в*

**Рисунок – Примеры формованных изделий, получаемых методами литья под давлением (а), пласт-формования (б) и ВМС-технологии (в)**

Использование компонентов в виде отходов со стоимостью в десятки раз ниже используемых первичных материалов позволит снизить стоимость продукции на 30–60 %.

### **Список использованных источников**

1. Кордикова, Е.И. Определение технологических показателей измельченных отходов кож / Е.И. Кордикова, Г.Н. Дьякова // Между-

народное периодическое научное издание SWorld, выпуск 2, октябрь 2019, Свиштов (Болгария) / Экономическая академия им. Д.А. Ценова. – Свитшот (Болгария): 2019. – Вып. № 2. – С. 27–32.

2. Ставров, В. П. Двустадийная технология совмещения волокнистых отходов стеклопластика и смешанных отходов термопластов для формования изделий / В.П. Ставров, А.Н. Калинка, О.И. Карпович, А.В. Спиглазов // Труды БГТУ: Сер. IV химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2010. – Вып. № XVIII. – С. 99–103.

УДК 666.295.6

**И.А. Левицкий, Е.А. Костик**

Белорусский государственный технологический университет

## **ДЕКОРИРОВАНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ КЕРАМИКИ ГЛАЗУРЯМИ КРАКЛЕ**

Невысокие температуры обжига, доступность сырья и относительно простая технология изготовления делают художественную керамику доступной и распространенной, но при этом привлекательной и изящной с точки зрения художественной ценности. Расписанная и глазурованная керамика обладает достаточной механической, химической и термической стойкостью, что позволяет использовать ее в быту. Скульптуры и изделия стилизованной формы являются настоящими произведениями искусства, служат изящными и эстетическими украшениями любого интерьера.

Целью исследований является разработка оптимальных составов глазурных покрытий кракле с улучшенными физико-химическими свойствами и эстетико-декоративными характеристиками: высокими показателями физико-химических свойств, высокодекоративного эстетического вида.

В данном исследовании разрабатываются составы глазурного покрытия кракле, наносимого на декоративные керамические изделия. Глазурь кракле представляет собой тонкий стекловидный слой с искусственно полученной сеткой глубоких трещин, часто окрашенных. Данный художественный эффект, вызываемый образованием трещин, обеспечивается, когда изделия прямо после обжига погружают в холодную воду или оставляют некоторое время на сквозняке. Существует иной метод [1,2] получения такого глазурного покрытия, который заключается в значительном несоответствии температурного коэффи-

циента линейного расширения (ТКЛР) черепка и глазури, что в свою очередь вызывает глубокую сетку трещин, который используется в данном исследовании.

Для приготовления глазурной суспензии использовались следующие сырьевые материалы: фритта глушеной 5Н глазури, глина «Гранитик-Веско» (Украина) или глина месторождения «Гайдуковка» (Республика Беларусь) и цинковые белила, а также бой гипсовых форм.

Огнеупорная глина – дисперсная осадочная порода, состоящая из частиц пластичных материалов, по химическому составу обычно гидроалюмосиликатов и минералов-примесей. Она вводилась с целью поддержания частиц во взвешенном состоянии при приготовлении глазури, а также с целью повышения реологических характеристик получаемой суспензии и адгезии глазури к керамической основе. Содержание ее оставалось постоянным и составило 10 мас. %.

Компоненты, применяющиеся при варке глушеной фритты Н5, являются песок кварцевый молотый марки А, глинозем – NO-105, мел, поташ, сода кальцинированная, борная кислота, цинковые белила, силикат циркония. Температура размягчения глазури составляет 603,1 °С,  $T_{\text{плавл}} = 980\text{--}1100$  °С. ТКЛР фритты 5Н в интервале температур от 20 до 300 °С составляет  $57,0 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$ .

Цинковые белила вводились с целью придания покрытию эффекта кракле. Содержание цинковых белил имело постоянное значение и составляло 20–33 мас. %.

Приготовление глазурной суспензии велось путем совместного помола фритты 5Н, глины огнеупорной, боя гипсовых форм а также цинковых белил в микрошаровой мельнице Speedy-1 (Италия) до полного прохождения через сито с сеткой № 0056 (10858 отв./см<sup>2</sup>). Влажность глазурной суспензии находилась в пределах 43,0–45,0 %, плотность по ареометру – 1580–1660 кг/м<sup>3</sup>. Толщина нанесенного покрытия должна составлять 1,0–1,4 мм. Полученную суспензию наносили на керамическую основу, прошедшую утильный обжиг, и имеющую водопоглощение 16–18 %, ТКЛР –  $60,7 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$ .

Изделия, покрытые глазурной суспензией, обжигали в камерной электрической печи фирмы Netzsch (Германия) при температуре 1000 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Характер глазурного покрытия кракле представлен на рисунке 1.

Глазурь характеризуется неравномерной, очень глубокой сеткой трещин, хаотично расположенной по поверхности черепка изделия. Глазурь имеет хорошее сцепление с керамической основой и позволяет сохранить полученную фактуру, или изменить ее, нанося в трещины блестящее или матовое покрытие, отличающееся по цвету от слоя

кракле, с последующим снятием цветной глазури с поверхности нанесенного слоя.

Глубина трещин покрытия может регулироваться плотностью глазурной суспензии и толщиной наносимого слоя.

Глазури имеют матовую фактуру с равномерным хорошим разливом. Большинство покрытий характеризуются эффектом сборки в виде крупной сетки трещин. Цвет покрытий – кремовый.



**Рис. 1 – Глазурные покрытия кракле**

Характерной особенностью является наличие трещин на высушенном глазурном покрытиях, не подвергающемся обжигу.

Для замера белизны глазури в качестве эталона использовалась баритовая пластинка, белизна которой равна 100 %. Значения белизны синтезируемых глазурных покрытий находятся в пределах 55–68 %.

Блеск покрытий определяли с помощью блескомера ФБ–2 (Россия) с использованием в качестве эталона черного увиолевого стекла. Значения блеска находилось в диапазоне 45–65 % и глазури относятся к матовым покрытиям.

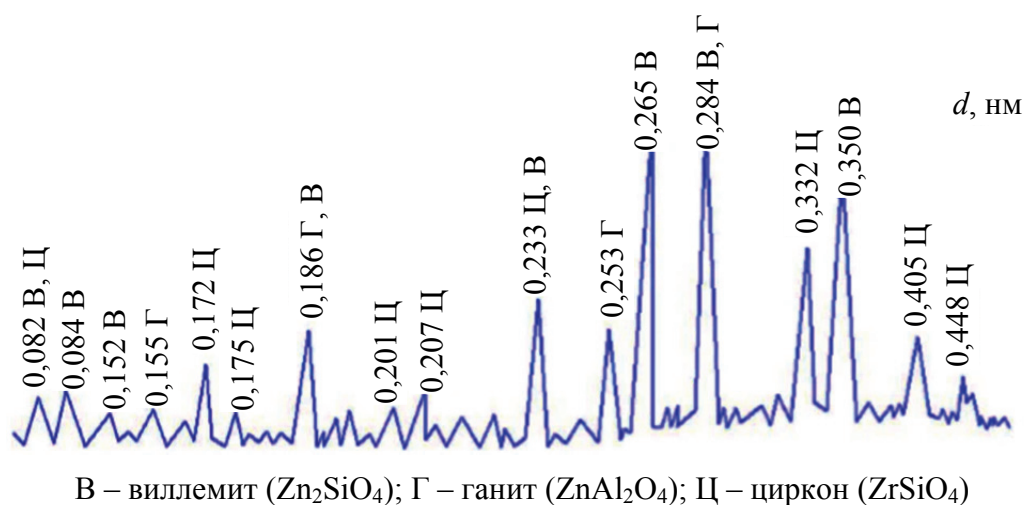
ТКЛР опытных образцов измеряли на электронном dilatометре марки DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–300 °С с погрешностью  $\pm 0,5 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Значения ТКЛР глазурей находятся в интервале  $(44,31-50,2) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , закономерно снижались при повышении содержания ZnO в их составе.



Микротвердость глазурных покрытий определяли на приборе Wolpert Wilson Instruments (Германия), осуществляющем автоматический расчет значений данного показателя по размерам диагонали отпечатка, полученного при вдавливании в образец квадратной алмазной пирамидки с углом между гранями  $136^\circ$ . Погрешность определения  $\pm 1\%$ . Показатели микротвердости варьируются в пределах 4940–5140 МПа.

Рентгенофазовый анализ глазурного покрытия проводился с помощью дифрактометра ДРОН–3 с использованием катода  $\text{CuK}\alpha$ .

Как видно из рентгенограммы, приведенной на рисунке 2, в синтезированном покрытии оптимального состава присутствуют фазы виллемита ( $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ ), ганита ( $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ ) и циркон ( $\text{ZrSiO}_4$ ).



**Рис. 2 – Рентгенограмма оптимального состава, обожженного при температуре 1000 °С**

Образование виллемита и ганита обусловлено введением  $\text{ZnO}$ , за счет которых образуется эффект стягивания глазурного покрытия в капли и приданию ему эффекта кракле.

Термостойкость глазурных покрытий, определялась требованиями СТБ 841–2003 «Изделия керамические народных художественных промыслов. Общие технические условия» и составляет более 20 теплосмен.

Использование глазурей кракле дает возможность улучшить декоративно-эстетические свойства изделий, расширить ассортимент художественной керамики, обеспечить высокую технологичность покрытий.

### Список использованных источников

1. Акунова, Л.Ф. Материаловедение и технология производства художественных керамических изделий / Л.Ф. Акунова, С.З. Приблуда – М.: Высшая школа, 1979. – 101 с.
2. В.В. Шихты декоративных глазурей и их применение в художественной керамике / В.В. Белявский М.: 2011. – 128 с.

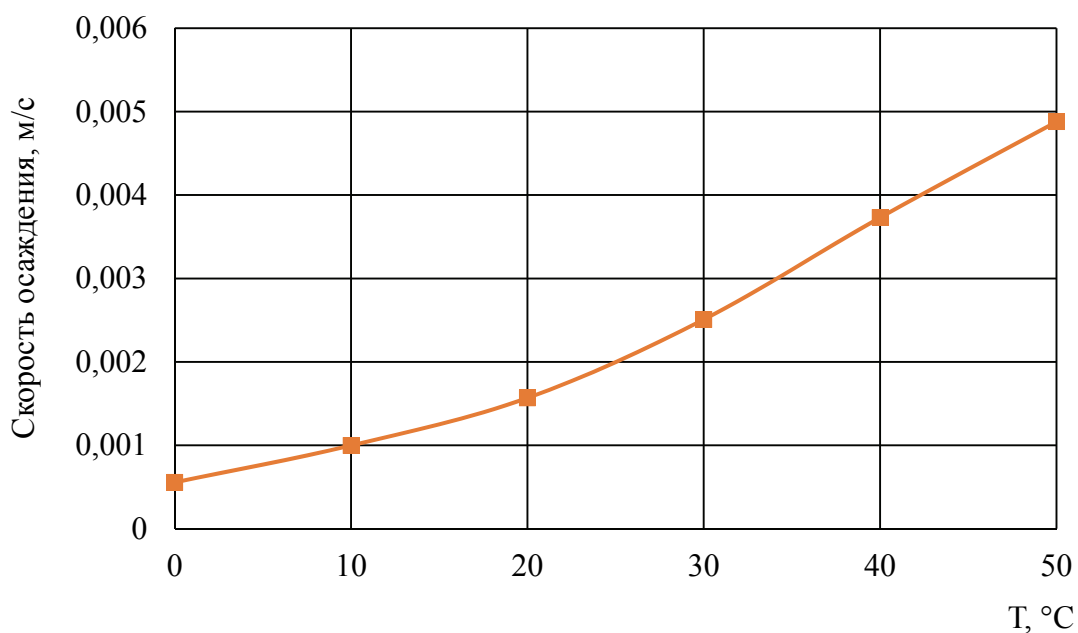


**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ  
В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ**

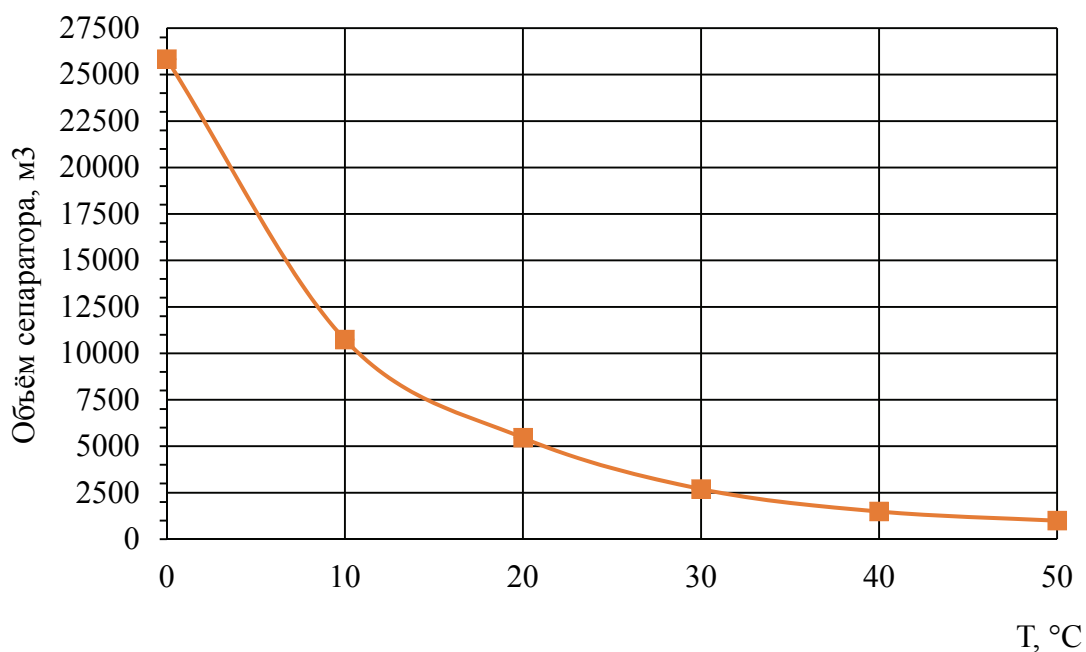
В настоящее время Арктика кроет в себе огромный потенциал и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Нефтегазоносные пласты здесь залегают относительно высоко, например, ПК около 900 метров, по сравнению с соседними регионами, где до продуктивных пластов необходимо бурить скважины 2500-3000 метров. По своему составу нефть Арктики в основном малопарафинистая, малосмолистая и малосернистая, что является несомненным плюсом при её подготовке в товарный вид, однако высокая плотность и вязкость нефти являются отягощающими факторами как при подготовке, так и при транспортировке нефти.

При проектировании системы сбора и подготовки на месторождении необходимо с технологической точки зрения рассмотреть различные объемы аппаратов, подобрать оптимальную температуру разделения эмульсии, определить количество параллельно работающих сепараторов, которое должно соответствовать прогнозным объёмам подготавливаемой продукции, кроме того при подборе аппаратов для разделения водонефтяной эмульсии также стоит помнить о суровых Арктических условиях эксплуатации данного оборудования. С экономической точки зрения необходимо помнить о том, что аппараты должны задействовать весь свой потенциал, другими словами они должны быть подобраны таким образом, чтобы загрузка на сепараторы была максимальной.

Для расчётов была использована информация с месторождения «Х» относящегося к Арктической зоне, нефть отличается аномально высокой плотностью ( $0,910 \text{ г/м}^3$ ) и вязкостью более  $180 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ . Технической задачей являлось определение оптимальной температуры для подготовки нефти с представленными параметрами в товарный вид. В ходе проведения работы было выявлено, что с увеличением температуры разделения, увеличивается скорость осаждения дисперсной фазы в дисперсной среде, скорость осаждения при  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  выше в 4,88 раза, чем при  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 1). Другими словами, с увеличением температуры, увеличивается скорость разделения эмульсии, что позволит наладить более ровный технологический режим работы аппаратов и увеличит эффективность разделения водонефтяной эмульсии.



**Рис. 1 – Зависимость скорости осаждения дисперсной фазы в дисперсной среде от температуры разделения**



**Рис. 2 – Зависимость суммарного объёма аппаратов от температуры разделения**

При проведении дальнейших расчётов было установлено, что при изменении температуры разделения, изменяются основные параметры сепараторов, например, такие как диаметр, длина и объём. С увеличением температуры разделения до 50 °C суммарный диаметр и длина

аппаратов уменьшились в 2,2 раза, а суммарный объём сепараторов уменьшился в 10,8 раз (рис. 2). Этот факт говорит о том, что путём увеличения температуры разделения можно добиться оптимизации технологического процесса разделения водонефтяной эмульсии.

Кроме того, с увеличением температуры разделения, уменьшается вязкость уже кондиционной нефти на выходе из аппаратов, в дальнейшем это будет способствовать уменьшению нагрузки на насосное оборудование при транспортировке нефти по напорному трубопроводу до точки врезки в магистральную линию, а также снижению энергопотребления насосных установок и уменьшению экономических затрат предприятия в связи с оптимизацией объёмов закупки технологического оборудования.

Подводя итог всему вышесказанному можно сделать вывод о том, что температура разделения играет большую роль в процессе разделения высоковязкой водонефтяной эмульсии. С увеличением температуры разделения увеличивается скорость разделения эмульсии, уменьшается вязкость, увеличивается производительность всей УПН, снижаются нагрузки как на аппараты ЦПС, так и на последующее насосное оборудование. Кроме того, при подогреве нефти до оптимальной температуры разделения уменьшаются габаритные размеры сепараторов, стабилизируется технологический режим.

#### **Список использованных источников**

1. Леонтьев С.А., Галикеев Р.М. Тарасов М.Ю. Технологический расчёт и подбор стандартного оборудования для системы сбора и подготовки скважинной продукции. Тюмень. – 2015. 124 с.

2. Шевелев Т.Г. Сооружение и эксплуатация объектов подготовки и хранения углеводородного сырья. Центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела ТПУ. – 2004. 206 с.

УДК 666.295.2

**И.А. Левицкий, Н.С. Кулакова**

Белорусский государственный технологический университет

#### **ПРОЗРАЧНЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА**

Прозрачные глазури для керамогранита начали использоваться сравнительно недавно, поэтому они недостаточно изучены.

Керамогранит – это современный искусственный материал, выпускаемый в форме плиток. Современная технология керамического

гранита позволила создать материал не только похожий на природный камень, но превосходящий его по ряду физико-химических свойств, техническим и эстетическим характеристикам. Определяющим свойством керамогранита является морозостойкость, напрямую зависящая от пористости черепка, водопоглощение которого не должно превышать 0,5 %. Иногда керамогранит покрывают прозрачной глазурью, придающую изделию глянцевое стекловидное покрытие, формируемое в процессе обжига при плавлении сырьевой композиции.

Преимущества керамогранита, покрытого прозрачной глазурью, состоят в следующем. Глазурированная плитка легко очищается даже при сложных загрязнениях. Это объясняет почему именно этот вид плитки так популярен для облицовки пола в помещениях с повышенной влажностью и в местах, где необходимо всегда поддерживать идеальную чистоту. Благодаря глазури плитка обретает важные декоративные и эксплуатационные свойства, такие как блеск, цветовое решение, дополнительную твердость и водостойчивость.

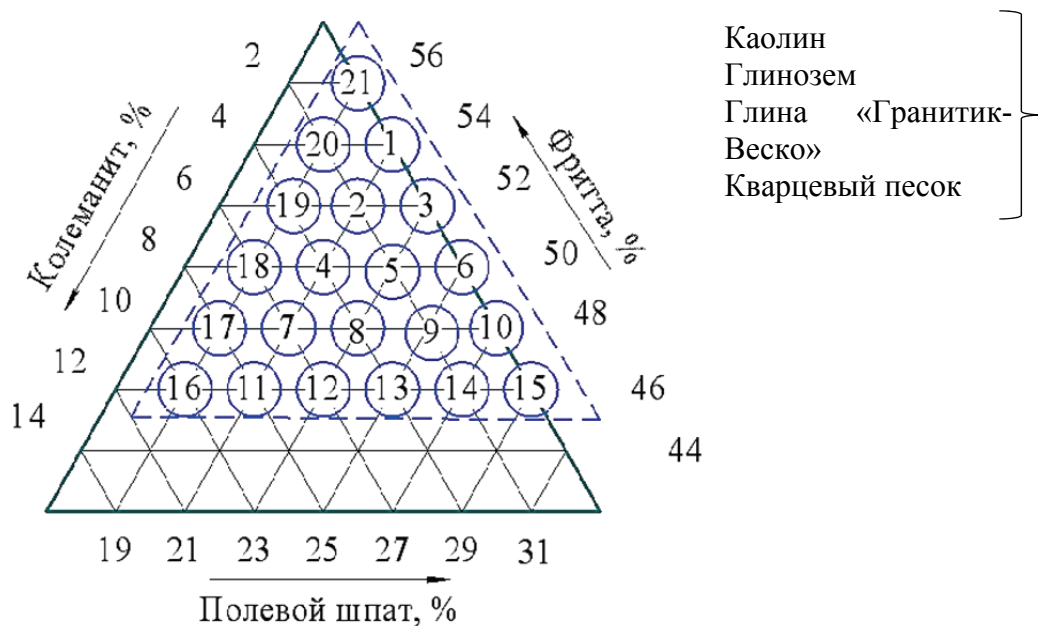
Особо актуальна прозрачная глазурь при декорировании керамогранита методом принтерной печати цветными керамическими красками, которые необходимо защищать от истирающего воздействия при эксплуатации.

Цель исследования является разработка состава и технологии получения прозрачной глазури для керамогранита, которая в настоящее время предприятиями закупается в Италии.

Сырьевая композиция для получения прозрачных глазурей включала, мас %: фритту 2/154 (производственный состав, применяющийся на ОАО «Керамин», г. Минск, Республика Беларусь) в количестве 46–56, колеманит – 0–10, полевой шпат – 20–30. Суммарное количество компонентов, содержание которых в исследуемой сырьевой смеси было постоянное (каолин мокрого обогащения, глинозем, глина огеупорная «Гранитик-Веско» и кварцевый песок) и составляло 25 мас. %. Шаг варьирования переменных составляющих составил 2 мас. %.

Составы синтезируемых глазурных покрытий для синтеза прозрачных глазурей приведены на рисунке 1.

Глазурный шликер готовился совместным помолом составляющих по мокрому способу в микрошаровой мельнице Speedy-1 (Италия). Соотношение массы загружаемых материалов, мелющих тел и воды составляло 1:1,5:0,5. Длительность помола определяется регламентированными остатками на сите с сеткой № 0063 (10 000 отв./см<sup>2</sup>) в количестве 0,3–0,5 %. Влажность глазурной суспензии находилась в пределах 35–40 %.



**Рис. 1 – Составы синтезируемых глазурных покрытий для синтеза прозрачных глазурей, мас. %**

Глазурная суспензия наносилась на высушенный полуфабрикат при плотности 1820–1840 кг/м<sup>3</sup>. Полученные образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре 110±5 °С до остаточной влажности не более 0,5 %. Обжиг плиток производился в конвейерной роликовой печи типа FMS-2950 (Италия) в производственных условиях ОАО «Керамин» при температуре 1200±10 °С в течение 45±5 мин.

Исследования указанных физико-химических свойств проводились в соответствии с ГОСТ 27180 «Плитки керамические. Методы испытаний» и общепринятыми методиками керамического производства.

Глазури для декорирования керамогранита подвергались следующим испытаниям: определению температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) на горизонтальном dilatометре системы ДКВ–2, исследованию химической стойкости, определению блеска на фотоэлектронном блескомере ФБ-2 (Россия) с использованием в качестве эталона пластинки из увиоливого стекла. Определение микротвердости велось на приборе ПМТ-3, износостойкости – по ГОСТ 27180.

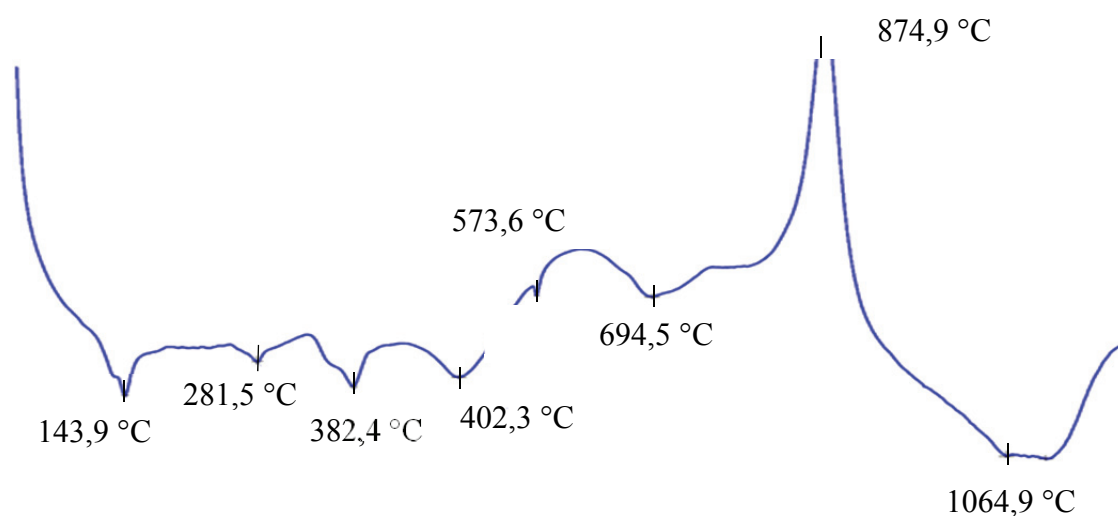
Рентгенофазовый анализ образцов велся на дифрактометрах общего назначения типа ДРОН–3, а дифференциально-термический анализ на – приборе DSC 404 F3 Pegasus фирмы «NEIZCH» (Германия).

Значения физико-химических свойств глазурных покрытий представлены в таблице.

Представленные в таблице данные по физико-химическим свойствам прозрачных глазурей для керамогранита показывают соответствие их показателей требованиям ГОСТ 6787.

**Таблица – Физико-химические свойства прозрачных глазурей**

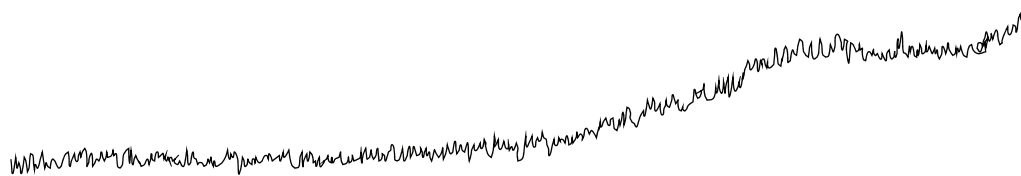
Свойство	Показатели свойств
Фактура поверхности	Блестящая
Блеск, %	68–73
Микротвердость, МПа	5630–5770
ТКЛР, К <sup>-1</sup>	$(5,90–6,36) \cdot 10^{-6}$
Термическая стойкость, °С	Более 150
Химическая стойкость	Химически стойкие к раствору № 3



**Рис. 2 – Кривая ДСК исследуемого глазурного покрытия состава 4**

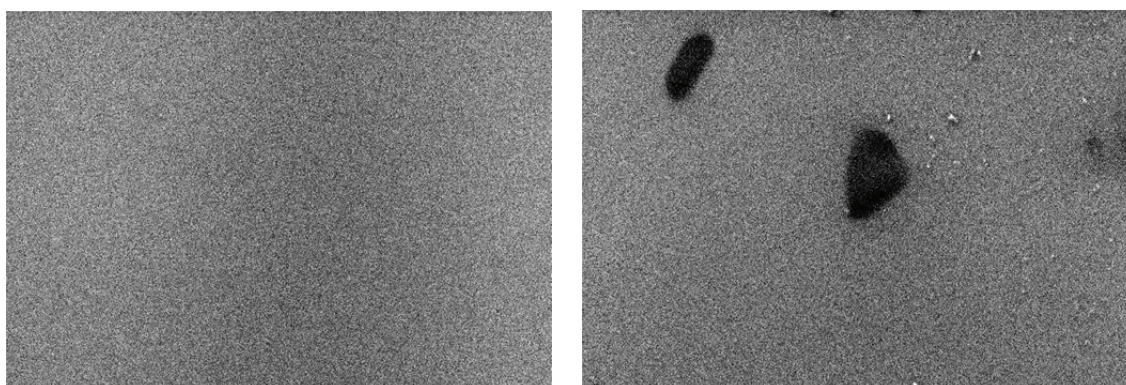
На кривой ДСК глазурного покрытия отмечается эндоэффект с минимумом при температур 143,9 °С, обусловленный удалением гигроскопической влаги из глинистых минералов, при 281,5 °С – удалением из них межслойной воды. Эндотермический эффект с минимумом при 382,4°С обусловлен разрушением структуры колеманита. При температуре 492,3° С отмечается эндотермический эффект, связанный с удалением гидроксильной воды из монтмориллонита. С повышением температуры на кривой ДСК фиксируется эндоэффект при 573,6°С, связанный с размягчением фритты, а эндоэффект при 694,5°С – выделением конституционной воды из монтмориллонита. Экзотермический эффекты при температуре 874,9 °С связан с образованием микронеоднородностей. Эндотермический эффект при температуре 1064,9 °С обусловлен плавлением колеманита.

Синтезируемые глазурные покрытия являются рентгеноаморфными, что иллюстрирует рисунок 3 для оптимального состава.



**Рис. 3 – Дифрактограмма глазури оптимального состава**

Микроструктура образцов исследовалась на скеле покрытия с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-5610 LV (Япония).



— 10 мкм

**Рис. 4 – Электронно-микроскопические снимки прозрачной глазури оптимального состава**

Проведенные испытания в заводских условиях ОАО «Керамин» показали возможность использования разработанных покрытий в условиях промышленного производства по существующей технологии приготовления и нанесения глазурей.

УДК 665.7.032.57

**А.Л. Лapidус, Д.С. Худяков, Ф.Г. Жагфаров**  
Российский государственный университет нефти и газа  
(Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ В СМОЛЕ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ**

Горючие сланцы некоторых месторождений содержат целый ряд сопутствующих компонентов в количествах, близких к промышленным. Если учесть, что образование сланцезольных остатков от сжигания

сланцев в отдельных случаях достигает десятков миллионов тонн в год, то создаются благоприятные условия для извлечения некоторых минеральных компонентов.

В настоящей работе была проведена разгонка сланцевой смолы в аппарате АРН-2 с последующим анализом полученных фракций. Было определено общее содержание, а также фракционное распределение таких металлов, как ванадий, никель, молибден, кобальт и хром. В качестве образца была взята смола переработки горючих сланцев Кашпирского месторождения, которое расположено в центральной части Волжского сланцевого бассейна.

В качестве аналитического метода определения содержания элементов был выбран метод атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС). Атомно-абсорбционный анализ основан на селективном поглощении электромагнитного излучения определенной длины волны свободными от всех молекулярных связей нейтральными атомами определенного элемента, которые находятся в газо- или парообразном состоянии.

Развитие данного метода анализа, его совершенствование и широкое признание во всей сфере анализа принципиально расширили возможности аналитической химии. ААС отличается высокими показателями селективности, трудоёмкости и чувствительности. По производительности работы и скорости выполнения анализов, ААС является наиболее совершенным методом для определения ультрамалых концентраций отдельных элементов.

При разгонке смолы выход светлых фракций составил более 40 % до температуры 340 °С. Данная смола может быть использована в качестве источника жидких моторных топлив после дополнительной очистки и переработки.

В результате атомно-абсорбционного спектрального анализа было установлено, что содержание металлов во всех фракциях смолы различно. Однако, наблюдается следующая тенденция: с увеличением температуры выкипания фракции содержание металлов увеличивается. Например, содержание хрома в легких фракциях недостаточно для чувствительности атомно-абсорбционного спектрометра, вследствие чего было определено точное содержание лишь в остаточной фракции смолы.

В представленной работе был рассмотрен способ сухого озоления, подразумевающий термическую обработку пробы в присутствии кислорода с последующим ее взаимодействием с растворами кислот. Выбранный метод имеет ряд сложностей:

– предварительная обработка пробы, которая требует поиска наиболее оптимального способа озоления образца и перевода элемента



в растворимое состояние таким образом, чтобы не потерять значительные количества сконцентрированного в смоле металла.

– подготовка ряда стандартных растворов, при приготовлении которых следует учитывать определенные физико-химические свойства каждого элемента.

Сланцевая смола может послужить сырьём как для топливной, так и для редкометалльной промышленности, поскольку горючие сланцы содержат значительные количества ценных металлов, используемых во многих областях промышленности.

Полученные данные свидетельствуют о том, что основная часть металлов концентрируется в тяжелой части смол, следовательно, именно остаточные фракции целесообразно рассматривать как сырьё для выделения этих ценных металлов.

УДК 674.05

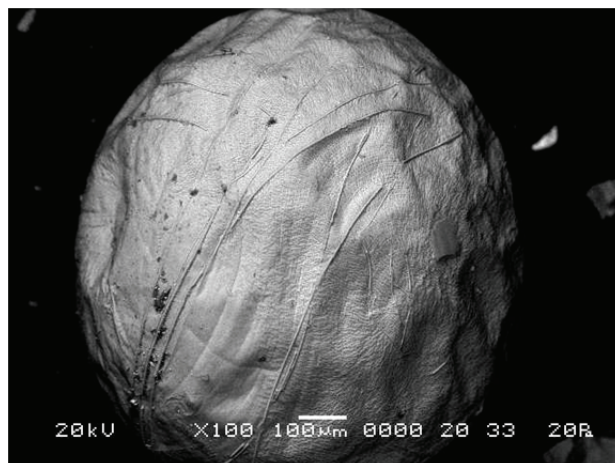
**П.С. Ларионов, Ю.Г. Павлюкевич,  
Е.Е. Трусова, Е.С. Савонов, А.С. Магасова**  
Белорусский государственный технологический университет

### **СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОПАНТОВ**

Пропанты представляют собой гранулообразный материал, применяемый для интенсификации добычи нефти и газа методом гидравлического разрыва пласта. К основным свойствам, определяющим возможность использования пропантов при гидроразрыве пласта являются сферичность, округлость, сопротивление раздавливанию и кислотостойкость.

Стеклокерамические материалы, полученные на основе петруггического сырья (базальты, диабазы, гранитоиды и др.) обладают высокой механической прочностью и химической устойчивостью, что позволяет применять их в качестве пропантов.

Для получения стеклокерамических пропантов синтезированы стекла в системе  $R_2O$  ( $Na_2O$ ,  $K_2O$ )– $MgO$ – $CaO$ – $Al_2O_3$ – $SiO_2$ , сформованы сферические частицы методом механического диспергирования струи расплава, после чего проведена их направленная объемная кристаллизация. На рисунке приведены электронно-микроскопические снимки синтезированных стеклокерамических пропантов.



**Снимки поверхности пропантов, выполненные при помощи электронного микроскопа**

Полученные стеклокерамические сферические частицы обладают высокой сферичностью и округлостью, химической устойчивостью к воздействию кислот и сопротивлением раздавливанию, что делает их перспективными для использования в качестве пропантов.

УДК 666.642.3

**И.А. Левицкий, Е.А. Костик**

Белорусский государственный технологический университет

### **МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ ГЛАЗУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ МАЙОЛИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Целью исследования является синтез металлизированных глазурных покрытий низкотемпературного обжига (980–1020 °С), для майоликовых изделий, полученных с использованием местных полиминеральных глин.

Получение металлизированных покрытий велось на основе фритты прозрачной глазури алюмоборосиликатной системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , содержащий оксиды в следующих пределах, мас. %:  $\text{Na}_2\text{O}$  – 7,2–8,6;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,1–1,3;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 5,4–6,6;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 11,4–14,1;  $\text{SiO}_2$  – 71,3–73,00.

К фритте прозрачной глазури в качестве добавки, обеспечивающей эффект металлизации, использовался  $\text{CuO}$ , вводимый в количестве 7,5–25,0 мас. % с интервалом содержания 2,5 мас. %. В качестве мельничной добавки использовалась глина огнеупорная «Веско-Гранитик» (Украина) в количестве 10 мас. % и калий азотнокислый – 0,8 мас. %. Оба компонента вводились сверх 100 мас. % составляющих смеси.

Приготовление глазурной суспензии велось путем совместного помола фритты, огнеупорной глины и селитры калиевой в микрошаровой мельнице Speedy-1 (Италия) до остатка на сетке № 0056 (10858 отв./см<sup>2</sup>) в количестве 0,5–1,0 мас. %. Влажность глазурной суспензии составляла 43–45 мас. %, плотность по ареометру – 1450–1470 кг/м<sup>3</sup>. Глазурная суспензия наносилась на керамическую основу, прошедшую утильный обжиг и имеющую водопоглощение 16–18 %, ТКЛР –  $50,6 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Покрытия наносились методом окунания. Политой обжиг проводили в камерной электрической печи со скоростью нагрева 150 °С/ч при температуре 980–1000 °С с выдержкой при максимальной температуре 1,5 ч.

Исследование свойств глазурных суспензий вели в соответствии с требованиями СТБ 841-2003 «Изделия керамические народных художественных промыслов. Общие технические условия».

Цвет покрытий определяли по 1000-цветному атласу ВНИИ им. Д.И. Менделеева. Определение цветовых характеристик образцов осуществляли с использованием спектрофотометра PROSCAN 122 (Германия – Республика Беларусь). Относительные спектры отражения снимали в диапазоне длин волн 380–780 нм при источнике излучения «В». По спектрам отражения, снятым с поверхности исследуемых образцов, рассчитывали координаты цвета. Затем по графику МКО определяли доминирующую длину волны  $\lambda_D$  и насыщенность (чистота) цвета S. Цветовой тон покрытий находился в интервале 486–597 нм. Чистота цвета составила 18–28 %, яркость цвета – 31–48 %.

Цветовые характеристики глазурного покрытия обеспечивались от зеленого при содержании CuO в составе глазурной суспензии 7,5–10,0 мас. %. Дальнейшее повышение содержания CuO приводило к металлизированной черной окраске, которая обеспечивалась при содержании 12,5–20,0 мас. % CuO. Дальнейшее повышение содержания CuO обеспечивало черно-серую окраску. Изменение блеска происходило от зеркального (7,5–15,0 мас. % CuO) до полуматового (12,5–17,5 мас. % CuO) и матового (20,0 мас. % CuO и более). Значения блеска соответственно составляли 68–100 % (блестящие), 55–45 % (полуматовые) и 5–28 % (матовые).

Дифференциально-сканирующей калориметрией шихты синтезированных глазурей установлено наличие 2-х эндотермических эффектов: при 620–715 °С, обусловленных изменением теплоемкости образцов вследствие из размягчения и при 920–985 °С – за счет плавления CuO. Следует отметить, что с ростом содержания CuO оба эндотермического эффекта смещаются в сторону более низких температур.

ТКЛР глазурной фритты, используемой в исследованиях, составляет  $56,9 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Введение CuO приводит к повышению значений

термического расширения до  $61 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  в исследованном интервале содержания  $\text{CuO}$ , что иллюстрирует рисунок 1а.

Глазурные медьсодержащие покрытия обладают высокой химической устойчивостью к миграции бора и алюминия в модельные среды, имитирующие пищевые жидкости. Миграция бора 1 % раствор уксусной кислоты как при комнатной температуре, так и при  $80^\circ\text{C}$  не обнаружена для всех покрытий. Не обнаружена также миграция алюминия в водную вытяжку при  $80^\circ\text{C}$ . Что касается миграции меди в водную вытяжку при  $80^\circ\text{C}$ , нормативным требованиям отвечают покрытия, содержащие  $\text{CuO}$  в количестве 7,5–15,0 мас. %.

Известно, что в воздушной среде при нормальном давлении оксид меди – тенорит [1], диссоциирует при температуре около  $1000^\circ\text{C}$  по реакции  $4\text{CuO} \rightarrow 2\text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2$ , а затем, в случае медленного охлаждения, возможно образование эвтектической смеси, состава 32 мас. %  $\text{CuO}$  и 68 мас. %  $\text{Cu}_2\text{O}$  с температурой плавления  $1080^\circ\text{C}$  [2]. В нашем случае при формировании глазурного расплава, очевидно, происходит плавление смеси  $\text{CuO}$  и  $\text{Cu}_2\text{O}$  с образованием меньшего или большего количества эвтектической жидкости в зависимости от того, какое количество  $\text{CuO}$  успевает перейти в  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Кроме того, необходимо учитывать, что в расплаве может происходить диссоциация  $\text{Cu}_2\text{O}$  по реакции  $2\text{Cu}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cu} + \text{O}_2$  с последующим плавлением меди [2].

Термостойкость исследованных покрытий находится в интервале  $240\text{--}280^\circ\text{C}$  и закономерно снижается с повышением значением ТКЛР.

Изменение цветовых характеристик и блеска глазурных стекол вполне объясняется причиной валентных переходов иона меди.

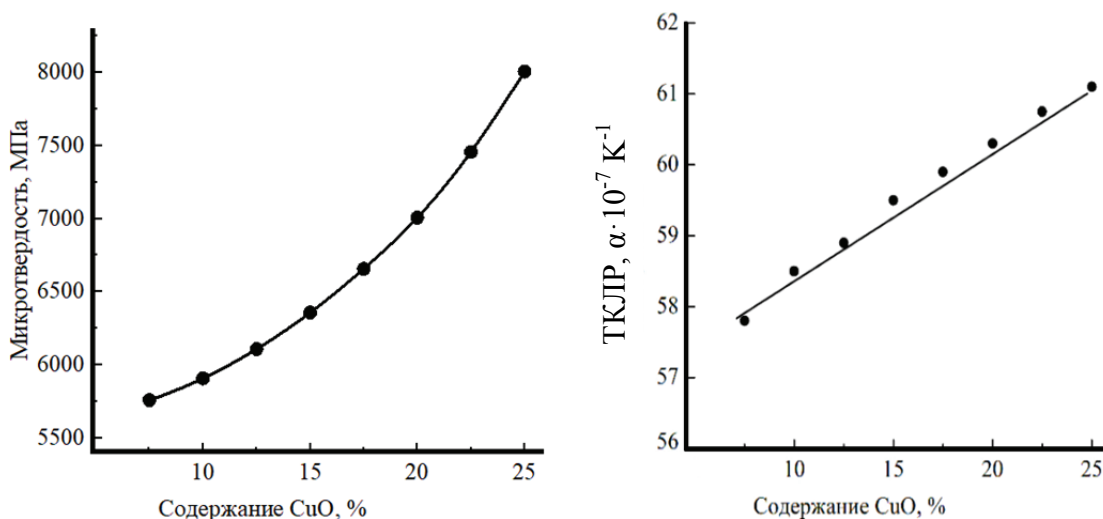
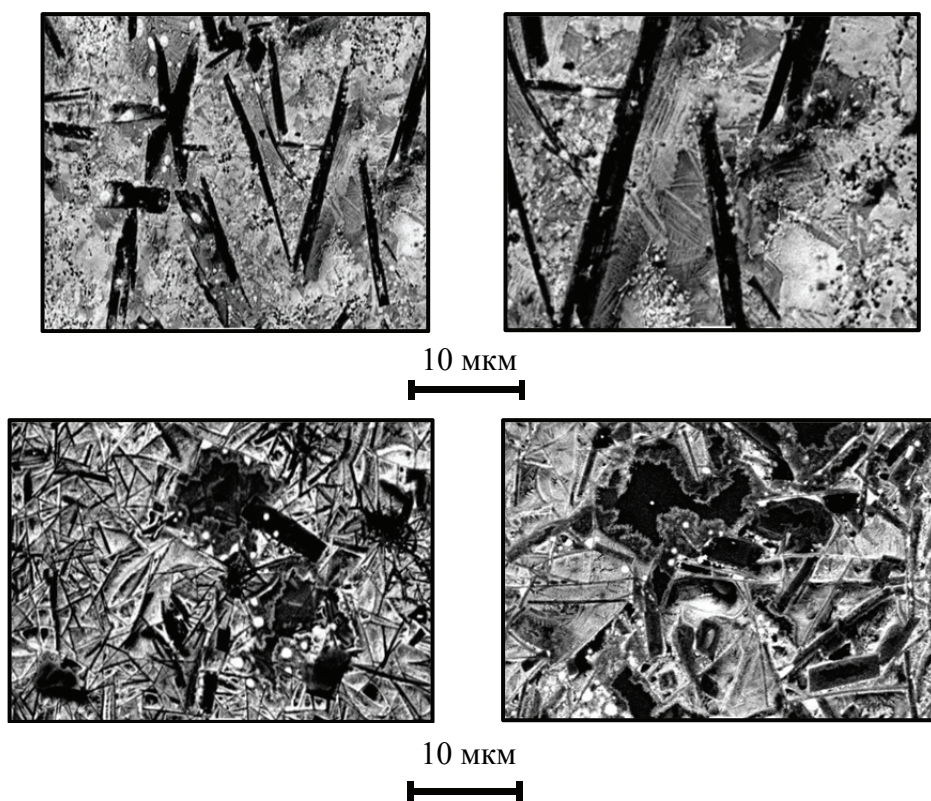


Рис. 1 – Зависимости микротвердости (а) и ТКЛР (б) медьсодержащих глазурей от количественного содержания  $\text{CuO}$

Значения микротвердости покрытий (рисунок 1, б) медьсодержащих глазурей возрастает с повышением содержания  $\text{CuO}$  в составах и находится в интервале 5896–8122 МПа.



**Рис. 2 – Электронно-микроскопические снимки поверхности глазурных покрытий, содержащих  $\text{CuO}$ , мас. %:**

*a – 7,5; б – 10,0; в – 15,0; г – 20,0*

Методом рентгенофазового анализа установлено, что в медьсодержащих глазурях процесс термической обработки обеспечивает формирование на поверхности глазурного стекла кристаллической фазы куприта  $\text{Cu}_2\text{O}$  в составах, содержащих  $\text{CuO}$  в количестве 7,5–10,0 мас. %. Более высокое содержание  $\text{CuO}$  приводит к кристаллизации тенорита  $\text{CuO}$ .

Электронно-микроскопическими исследованиями поверхности глазурных покрытий (рисунок 2) установлено наличие преимущественно таблитчатых кристаллов. Длина их составляет от 22 до 120 мкм, ширина – 6–10 мкм.

Крупные кристаллы ориентированы равномерно по поверхности, промежутки между ними заполнены кристаллическими образованиями преимущественно дендритового и скелетного габитусов.

Ступенчатая термическая обработка покрытий с резким охлаждением в интервале температур 850–1000 °С покрытий позволила уста-

новить, что рост кристаллов тенорита обеспечивается преимущественно из сформированного расплава.

Проведенные заводские испытания синтезированных глазурей в условиях ОАО «Белхудожкерамика» подтвердили высокое качество и обеспечение соответствия покрытий требованиям нормативно-технической документации.

#### **Список использованных источников**

1. Некрасов Б.В. Курс общей химии. М. Госхимиздат, 1961. 973 с.
2. Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розинова В.Л. Термический анализ минералов и горных пород. Л.: Недра. 1974. С. 182–187.

УДК 666.76

**И.А. Левицкий, О.В. Кичкайло, А.И. Тригубович**  
Белорусский государственный технологический университет

#### **ИТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СПЕКАНИЯ ЛИТИЙАЛЮМОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКИ МОДИФИЦИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ**

Близкие к нулю показатели термического расширения в широком температурном интервале и способность выдерживать без разрушения резкие изменения температуры являются определяющими для литий-содержащей керамики.

Ранее проведенными исследованиями [1] нами получены керамические материалы в сечении литийалюмосиликатной системы, расположенные на диаграмме состояния в границах полей кристаллизации эвкриптита и сподумена, которые при температуре обжига 1200 °С обеспечивают водопоглощение 18,7–22,4 %; механическую прочность при изгибе, которая составляет 50–55 МПа; температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) находящийся в интервале от минус  $0,72 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  до  $0,3 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ . Составы включают, мас. %: 7,5 Li<sub>2</sub>O; 32,5–42,5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 50,0–65,0 SiO<sub>2</sub>. Термостойкость керамических образцов указанной области составляют 100 термоциклов (350–20 °С).

Недостатком указанной массы являются высокие значения водопоглощения образцов, что не позволяет их использовать при изготовлении технической керамики, к которой предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости и механической прочности.

В качестве добавок, интенсифицирующих спекание, использовались следующие материалы: кремнеземное стекловолокно, электрокорунд, серпентин и триоксид хрома ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Выбор этих добавок произведен согласно имеющимся литературным данным о положительном влиянии указанных составляющих на повышение степени спекания и физико-механических свойств изделий.

Указанные индивидуальные добавки вводились в оптимальный состав литийалюмосиликатной керамики в следующих количествах: рубленое кремнеземное стекловолокно фракций 5–25 мм а также  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в количестве 0,5–1,5 мас. %, с шагом 0,5%; электрокорунд и серпентин – 1–10 мас. % с интервалом 5%.

Исходный состав литийсодержащей массы включает каолин просьяновский, песок кварцевый, карбонат лития, глинозем, глину «Керамик-Веско» и апатитовый концентрат.

Сырьевые компоненты измельчались мокрым помолом составляющих компонентов при влажности 45–50 % в микрошаровой мельнице до остатка на сите № 0063 в количестве 1,2–1,5 %. Порошки готовились из шликерных масс обезвоживанием шликера в сушильном шкафу и приготовлением порошков, которые обеспечивали следующий гранулометрический состав. Остатки на ситах составили, мас. %: № 1 – не более 3; от № 05 до № 0315 – 15 – 18; № 025 – 55–72. Масса гранул, прошедших сквозь сито № 025 – от 18 до 35.

Влажность пресс-порошков находилась в интервале 4–5 %. Давление прессования образцов составляло 10–12 МПа.

Образцы подвергались сушке в сушильном шкафу до влажности не более 2 % и обжигу в лабораторной электрической печи при температуре  $1100 \pm 5$  °С с выдержкой при максимальной температуре в течение 1,5 ч.

Обоженные образцы характеризовались гладкой ровной поверхностью желтовато-охристого цвета и отсутствием дефектов.

Исследования свойств образцов проводились по стандартным методикам керамического производства.

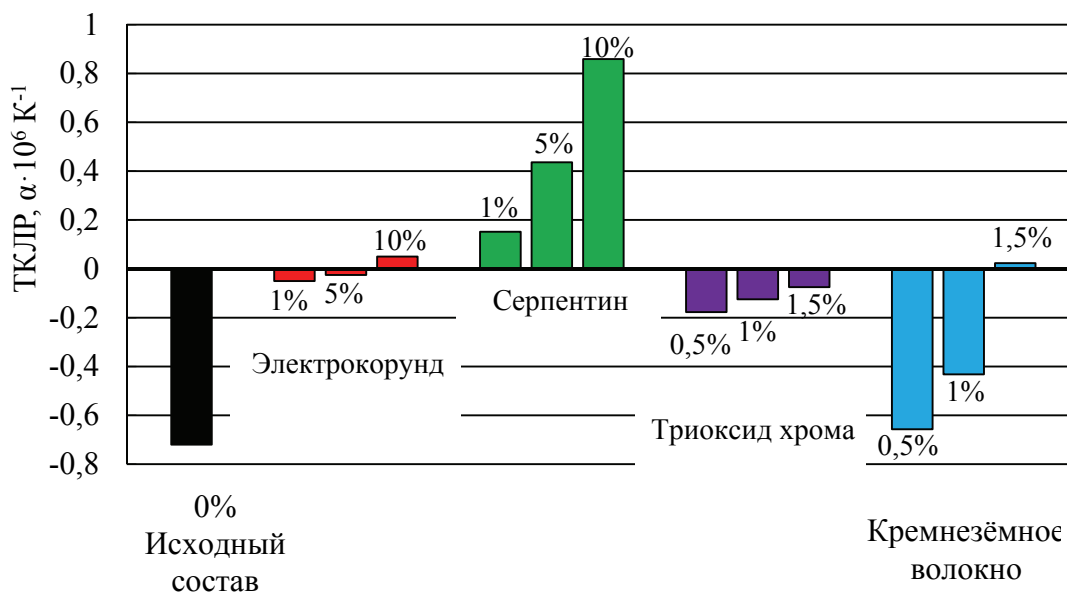
Установлено, что добавки серпентина приводили к повышению ТКЛР до положительных значений:  $0,152 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  при введении его в количестве 1 мас. % и при добавке 5 и 10 мас. % ТКЛР составляли  $0,44 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  и  $0,86 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  соответственно, что иллюстрирует рисунок.

Показатели водопоглощения при этом снижались от 28,6 % до 24,3 % и 22,3 % соответственно. Механическая прочность при сжатии образцов возрастала от 13,6–13,8 МПа при 1–5 мас. % серпентина до 20,9 МПа при его добавке 10 мас. %.



Добавки электрокорунда в количестве 1–10 мас. % приводили к некоторому повышению значений ТКЛР, которые имеют отрицательное значение и составляют от минус  $0,05 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  до плюс  $0,05 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ . Добавка электрокорунда не влияла на изменение показателей водопоглощения и механической прочности при изгибе образцов.

Что касается добавок  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , то они несколько повышали значения ТКЛР по сравнению с исходным составом, и эти значения изменялись от минус  $0,17 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  при введении 0,5 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до минус  $0,125 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  при добавке 1,5 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .



Количество добавок в исходный состав указано на гистограммах значений ТКЛР

#### Зависимость ТКЛР опытных образцов литийалюмосиликатной керамики от содержания модифицирующих добавок, мас. %

Показатели водопоглощения образцов незначительно снижались от 29,3 % при введении 0,5 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 28,5 % при добавке 1,5 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Механическая прочность возрастала незначительно.

Установлено, что введение добавок рубленого кремнезёмного стекловолокна обеспечивало незначительное повышение значений ТКЛР, которые сохранялись на уровне минус  $0,66 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  при содержании 0,5 мас. % кремнезёмного стекловолокна и минус  $0,43 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  при его содержании в количестве 1,0 мас. %. Далее значения ТКЛР возрастали и составляли плюс  $0,023 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  при введении 1,5 мас. % кремнезёмного волокна.

Водопоглощение образцов при этом также снижались от 28 % у исходного состава до 25,9 %. Так для образцов, содержащих 0,5 и 1,0 мас. % кремнезёмного волокна, водопоглощение сохранялось на



уровне исходной массы и составляет 29,2–28,7 %. Добавка кремнеземного волокна в количестве 10 мас. % снижала водопоглощение до 26,0 %.

Термостойкость всех образцов составляет более 120 термических циклов (350–20 °С).

Проведенные исследования позволили заключить, что интенсификацию процессов спекания алюмосиликатной керамики наиболее существенно повышали добавки серпентина, вводимого в количестве 5–10 мас. % и рубленного кремнеземного стекловолокна – 0,5 – 1,0 %. При этом значения ТКЛР оставались близкими к нулю.

#### **Список использованных источников**

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

УДК 694:620.98

<sup>1</sup>О.К. Леонович, <sup>2</sup>Н.С. Ерофеев

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>ОАО «Мозырский ДОК»

### **ТЕХНОЛОГИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УТЕПЛИТЕЛЯ «БЕЛТЕРМО»**

Теплоизоляционные плиты из древесного волокна «Белтермо» изготовленные методом сухого прессования на оборудовании «Siempelkamp» с применением смол PMDI на ОАО «Мозырский ДОК» являются экологически безопасными и значительно превосходят по качеству плиты из стекловаты.

Теплоизоляционные плиты «Белтермо» самый эффективный и экологически чистый изоляционный материал на сегодняшний день, гарантирующий эффективную защиту от холода и жары, отличную звукоизоляцию и комфортный микроклимат, что обеспечивает наиболее высокий уровень энергоэффективности зданий по сравнению с использованием других теплоизоляционных материалов. Плиты «Белтермо» соответствуют требованиям EN 13171. Сочетание различных видов изоляционных плит «Белтермо» позволяет обеспечить изоляцию всех видов конструкций зданий: кровли, перекрытий, стен, пере-

городок и полов. Ниже приводим сравнительную таблицу характеристик строительных материалов.

Материал	Плотность [кг/м <sup>3</sup> ]	Теплопроводность, [Вт/м°К]	Теплоемкость, [Дж/ (кг°К)]	Теплопроводность, [см <sup>2</sup> /кг]
БЕЛТЕРМО	110–200, 50	0,037–0,044, 0,038	2100	3–6, 12–14
Древесина хвойная	500	0,09	2300	3
Пенобетон	300–1200	0,08–0,29	840	10–12
Керамзитобетон	800–1200	0,23–0,41	840	12–15
Кирпич	1700–2100	0,67	840–880	13–17
Минеральная вата	40–180	0,044–0,058	840	14–48
Пенополистирол	40	0,038	1340	25
Железобетон	2500	1,69	840	30
Сталь	7850	58	482	550

Изоляционные древесноволокнистые плиты «Белтермо» – это экологически безопасные материалы, предназначенные для утепления и звукоизоляции, в состав которого входит древесина, преимущественно хвойных пород, полиуретановая безвредная смола и, во влагостойких плитах, парафиновая эмульсия.

Связующим при производстве теплоизоляционных плит из древесного волокна являются смолы РМДИ. В результате получается экологически безопасная плита, не содержащая фенольных и других вредных выделений при эксплуатации.

Особый интерес представляет использование утеплителя «Белтермо» для создания новых конструкций стен из кирпича или железобетонных конструкций с утеплением с помощью каркаса, заполненного теплоизоляционными плитами «Белтермо» марки – TOP, ULTRA, INSTAL, MULTI, SAFE, ROOM, ROMBI и наружной облицовкой.

При плотности плиты «Белтермо» от 110 до 200 кг/м<sup>3</sup> соответственно предел прочности при сжатии составляет от 50 до 200 кПа и при растяжении от 10 до 30 кПа.

Для увеличения теплозащитных свойств конструкций предложено использовать вентилируемые проемы и применение новой теплоизоляционной древесноволокнистой плиты сухого способа прессования по методу Siempelkamp, выпускаемой на ОАО Мозырский ДОК, по той же технологии, как зарекомендовавшие себя бренды Steico и Gutex. Они имеют европейские сертификаты и поставляются на рынок Европы и России.

Необходимость устройства вентилируемой воздушной прослойки и ее толщину следует определять расчетом согласно разделу 6 ТКП45-3.02-113.

Объектами исследования являются стеновые панели для домов каркасного типа, а также кирпичных и панельных зданий.

В настоящее время для утепления стеновых панелей используются различного типа стекловаты которые содержат вредные компоненты, так как при их производстве используются экологически небезопасные фенольные смолы.

В предлагаемой конструкции дома из древесных материалов каркасом является экологически безопасная деревянная конструкция из тонких досок скрепленных алюминиевыми гвоздями без применения клеевых композиций.

При строительстве домов необходимо проектировать ограждающие конструкции у которых термическое сопротивление теплопередаче не ниже нормативного  $R_{т.норм.} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-43-2006 и изменениями к нему. Расчет конструкций с учетом нормативных требований по сопротивлению теплопередаче, расчетных значений температуры, максимального парциального давления водяного пара и относительной влажности для конструкции стеновой панели в различных сечениях, проводится в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-196-2010.

Для уменьшения расхода древесины снаружи крепится деревянный каркас, который заполняется однослойными или многослойными теплоизоляционными плитами «Белтермо». По каркасу теплоизоляционная плита покрывается ветрозащитной пленкой и различными изолирующими и укрепляющими каркас материалами: сайдингом, фрезерованными досками или цементно-стружечными плитами.

Необходимо учитывать, что применение каркасных стен в ограждающих конструкциях определяется по степени огнестойкости по ТКП 45-2-315-2018.

Внутреннюю облицовку следует выполнять из гипсокартонных материалов по ГОСТ 6266. Наружную облицовку необходимо выполнять из морозо- и атмосферостойких материалов, например из цементно-стружечных плит, цементно-керамзитовых плит.

Для помещений с влажным и мокрым режимом эксплуатации следует предусматривать устройство теплоизоляционного слоя между внутренним слоем утеплителя и внутренней облицовкой. Пароизоляционный слой из полиэтиленовой пленки располагается между внутренней облицовкой и каркасом.

Монтаж теплоизоляционных плит «Белтермо» при утеплении кирпичных ограждающих конструкций можно производить по способу «Вентилируемый фасад»

Вентилируемые фасады представляют собой конструкцию, в которой теплоизоляционные плиты закрепляются на поверхности фасада

при помощи тарельчатых анкеров с обязательным обустройством вентилируемой воздушной прослойки между слоем теплоизоляции и наружной облицовкой.

На изолируемой стене закрепляются несущие кронштейны. «Белтермо» фиксируются на изолируемой стене в один или два слоя при помощи тарельчатых анкеров. К несущим кронштейнам крепятся вертикальные направляющие, к которым в свою очередь присоединяют элементы наружной облицовки.

Стоит уточнить, что обрешетка бывает двух типов: из брусьев и металлическая. Используя обрешетку из дерева, ее предварительно необходимо обработать противогрибковым средством, в остальном их установка практически идентична.

При установленных оконных и дверных обрамлениях теплоизоляцию монтируют вплотную к ним (без зазоров), при их отсутствии – плиты устанавливаются с припуском не менее 50 мм внутрь проема, с последующей подрезкой при монтаже обрамлений

Крепление теплоизоляции к стене производится тарельчатыми анкерами. Анкер, как правило, состоит из двух составных частей: тарельчатого полимерного дюбеля и распорного элемента из углеродистой стали или полимера.

После установки тарельчатого дюбеля в проектное положение, производится окончательная фиксация теплоизоляции путем забивания или завинчивания распорного элемента в дюбель.

Сдерживающими факторами успешного развития экологически безопасного строительства деревянных, кирпичных, панельных и железобетонных конструкций с дополнительным утеплением сдерживается из-за отсутствия нормативной базы по проектированию и строительству.

**Заключение.** При строительстве домов каркасного типа в качестве теплоизоляционного материала рекомендуется использовать экологически безопасные теплоизоляционные плиты на основе древесного волокна непрерывного прессования по технологии «Siempelkamp» на смолах PMDI, выпускаемых на ОАО «Мозырский ДОК».

Для успешного развития экологически безопасного деревянного домостроения в том числе многопролетного с купольными перекрытиями и утепления кирпичных, панельных и железобетонных ограждающих конструкций с применением экологически безопасных строительных материалов необходимо разработать:

– СПБ «Деревянные конструкции. Правила проектирования малоэтажных каркасно-панельных зданий».

– СТБ «Методы определения прочностных и упругих характеристик древесины перекрестно-клееной (CLT) и перекрестно скрепленной гвоздями (МНМ).

– СПБ «Деревянные конструкции. Правила проектирования зданий из перекрестной древесины на клеевой основе (CLT) и экологически безопасной скрепленной алюминиевыми гвоздями (МНМ).

Ввести в действие типовые строительные конструкции, изделия и узлы Серии Б2.000-11.19 «Узлы и детали утепления конструкций утеплителем «Белтермо» Вып. 1 Материалы для проектирования. Рабочие чертежи.

### **Список использованных источников**

1. Леонович О. К. Расчет теплопереноса в стеновых панелях деревянного дома каркасного типа с применением новых теплоизоляционных материалов // Архитектура и строительство – Минск: 2014. – № 1. – С. 42–43.

2. Леонович О. К. Повышение долговечности и экологической безопасности стеновых панелей деревянных домов каркасного типа // Труды БГТУ. – 2014. – №2 (166): Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 122–125.

3. Леонович О. К. Конструктивные особенности соединений домов каркасного типа // Архитектура и строительство – Минск: 2015. – № 1. – С. 58–59.

4. Леонович О.К. Концепция развития экологически безопасного деревянного домостроения в республике Беларусь// Божелко И. К./ Архитектура и строительные науки № 1,2 (22,23) 2019, С 60–64.

УДК 674.8

<sup>1</sup>О.К. Леонович, <sup>1</sup>И.К. Божелко,

<sup>2</sup>А.Н. Шернаев, <sup>1,2</sup>Ж.И. Махмудов

<sup>1</sup>Белорусский технологический университет

<sup>2</sup>Ташкентский химико-технологический институт

### **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОТОКСИЧНЫХ ПЛИТ СУХОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ИЗ СТЕБЛЕЙ ХЛОПЧАТНИКА И ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ**

Парижское соглашение по климату было принято 12 декабря 2015 г. по итогам 21-й конференции Рамочной конвенции об изменении климата (РКООНИК) в Париже. Снижение выброса углекислого газа задача мирового масштаба. Во всем мире ведутся научные и практические работы по переработке отходов различных производств в том

числе и сельского хозяйства. В Республике Узбекистан образовывается огромное количество отходов хлопчатника. Крайне важно вовлечь эти неиспользуемые ресурсы в хозяйственный оборот с организацией экономически целесообразных производств и создания продукции экологически безопасной и востребованной на внутреннем и внешних рынках.

В отечественной и зарубежной литературе имеются разноречивые сведения о технологиях по использованию хлопчатника для различных изделий народного потребления:

- получения пленок; [1]
- волокна из хлопчатника; [2, 3]
- композиционных плитных материалов; [4]
- композитных материалов армированных волокном. [5]

Предыдущие исследователи предлагают различные варианты производства композиционных плитных материалов. Их производство организовано на тактовых прессах в пресформах является низкопроизводительным и вряд ли найдет широкое применение в промышленности.

В предлагаемых технологиях при производстве конечной продукции предлагается использовать карбаминоформальдегидные смолы и другие химические реагенты оказывающие негативное влияние на окружающую среду в том числе и при эксплуатации уже готовой продукции.

Процесс переработки хлопчатника целесообразно исследовать в трех технологических направлениях: производство теплоизоляционных плит, производство плит сухого способа прессования средней и высокой плотности, и производство биопластов.

Нами исследуются технологические процессы производства экологически безопасных теплоизоляционных плит низкой плотности и процессы производства плит средней плотности на основе волокон из хлопчатника сухого способа прессования.

Учитывая низкую плотность хлопчатника составляющую в среднем  $50 \text{ кг/м}^3$  и различные физико-химические и механические свойства корневой системы, стебля и коробочки возникает много проблем требующих глубоких научных исследований при отработке режимов дефибрирования и размола хлопчатника с целью получения волокна необходимых характеристик.

Технологический процесс производства теплоизоляционных плит из древесного волокна низкой плотности от  $50$  до  $240 \text{ кг/м}^3$  содержит следующие операции: подготовка и измельчение хлопчатника; сортировка сырья; производство волокна и его сушка; сепарирование волокон; смешивание волокна со связующим; формирование непрерывного

ковра; отверждение непрерывного ковра; раскрой, создание профиля, штабелирование и упаковка плит.

В технологическом процессе предложено использовать смолы не содержащие фенольных соединений и обеспечивающие выпуск экологически безопасных теплоизоляционных плит.

Для расширения области применения в технологическом процессе предусматривается использование биоволокна, позволяющего выпускать гибкие плиты для утепления конструкций различных геометрических форм.

Гибкие изоляционные древесноволокнистые плиты производятся с применением так называемых двухкомпонентных волокон. Речь идет о расплавленных биологических волокнах с тугоплавким ядром и низкоплавкой оболочкой. В процессе производства оболочка нагревается до точки плавления и представляет собой «клейковину», с помощью которой двухкомпонентные волокна соединяются между собой и с древесными волокнами. Другой клей больше не требуется.

Для организации процесса изготовления гибкой плиты требуется немного дополнительного оборудования. Двухкомпонентные волокна доставляются в виде тюков, которые развязываются с помощью специальных машин. Для интенсивного перемешивания двухкомпонентных волокон с волокнами из хлопчатника или древесных пород используется специальная смесительная система, с помощью которой достигается гомогенная смесь. Последующая технологическая цепочка схожа с цепочкой производства твердых плит на базе безформальдегидного клея, то есть из волоконной смеси механическим способом формируется ковер, который уплотняется до конечных размеров в подогревателе и подогревается с помощью смеси из пара и воздуха до температуры плавления.

Затем плита, ещё в момент калибровки, охлаждается с тем, чтобы зафиксировать состояние уплотнения. Гибкие плиты характеризуются плотностью в диапазоне между 40 и 70 кг/м<sup>3</sup> и имеют толщину в диапазоне между 40 до 240 мм. Они применяются в основном для устройства изоляции между стропилами крыш и для изоляции стен между стойками конструкции, состоящей из деревянных каркасов. В зависимости от плотности и толщины этих плит можно достичь высокой производительности.

Технологический процесс производства плит средней плотности от 650 до 800 кг/м<sup>3</sup> из хлопчатника мало чем отличается от процесса изготовления теплоизоляционных плит включает следующие операции: приемка и хранение сырья и материалов; приготовление, сорти-

рование и гидромойка технологического сырья; размол технологической щепы на волокно; приготовление и введение связующего, отвердителя и гидрофобного компонента; сушка волокнистой массы; формирование волокнистого ковра; прессование плит;

Исследуется возможность совмещения технологий по выпуску плит теплоизоляционных и плит средней плотности сухого способа прессования.

Заключение: разрабатываемые технологии позволят эффективно перерабатывать отходы хлопчатника и других культур содержащих целлюлозу, улучшить экологическую среду, вовлечь в строительную отрасль экологически безопасные теплоизоляционные плиты и плиты средней плотности.

### Список использованных источников

1. Production and characterization of films from cotton stalk xylan / Goksu Emel I., Karamanlioglu Mehlika, Bakir Ufuk, Yilmaz Levent, Yilmazer Ulku // J. Agr. and Food Chem. – 2007. – 55, № 26. – С. 10685–10691. – Англ.

2. Эстрагирование лубяных волокон из стеблей хлопчатника посредством обессмоливания при высокой температуре / Zhang Xiao-cen, Wei Chun-yan // Dalian gongye daxue xuebao = J. Dalian Polytechn. Univ. – 2012. – 31, № 5. – С. 359–361. – Кит.; рез. англ.

3. Натуральные длинные целлюлозные волокна текстильного назначения, выделенные из коры стеблей хлопчатника с применением предварительной обработки паровым взрывом. Textile grade long natural cellulose fibers from bark of cotton stalks using steam explosion as a pretreatment / Dong Zhen, Hou Xiuliang, Sun Fangfang, Zhang Li, Yang Yiqi // Cellulose. – 2014. – 21, № 5. – С. 3851–3860. – Англ.

4. Древесно-пластиковых композиционных плитных Важнейшие научно-методические и технологические принципы получения материалов на основе древесных наполнителей из стеблей хлопчатника и полимерных связующих / Холмуродова Д. К., Негматов С. С., Абед Н. С., Аскарров К. А., Михридинов Р. М., Абдуллаев М. Б., Бурнев Н. И. // Композиц. матер. : Композицион материаллар. – 2016. – № 1. – С. 55–56. – Рус.; рез. узб., англ.

5. Влияние длины волокна на свойства композитных материалов ПЭ высокого давления/древесное волокно. Effect of fiber length on processing and properties of extruded wood-fiber/HDPE composites / Migneault Sébastien, Koubaa Ahmed, Erchiqui Fouad, Chaala Abdelkader, Englund Karl, Krause Cornelia, Wolcott Michael // J. Appl. Polym. Sci. – 2008. – 110, № 2. – С. 1085–1092. – Англ.



## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ В НАПОЛНЕННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ**

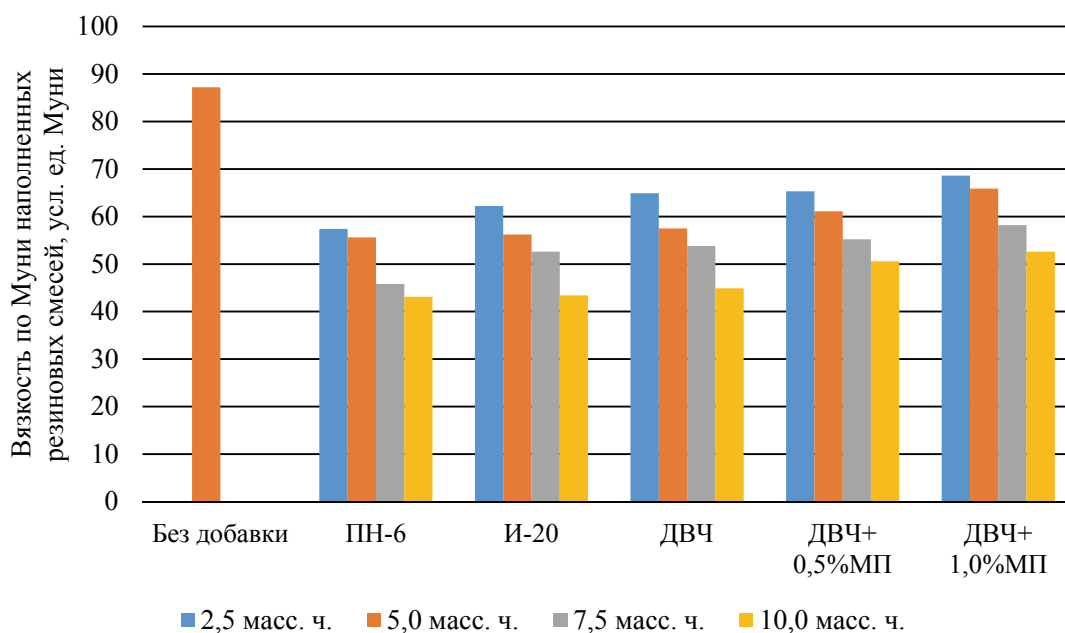
В настоящее время в резинотехнической отрасли ужесточились экологические требования к продуктам производства и износа шин и РТИ. Повышение экологической безопасности при изготовлении и эксплуатации таких изделий достигается путем исключения или сокращения материалов, выделяющих вредные вещества. В основном, к таким материалам относятся целевые добавки (пластификаторы, мягчители) на основе продуктов переработки нефти, запасы которой ограничены, а цены на них высоки.

Цель работы – исследование влияния продукта переработки отработанного масла ДВЧ, модифицированного различным содержанием присадки (0,5 и 1,0 % мас.) в сравнении с промышленными пластификаторами ПН-6 и И-20 на технологические свойства наполненных эластомерных композиций на основе комбинации каучуков СК(М)С-30АРКМ-15+БНКС-18АМН (90 : 10).

На рисунке представлены результаты исследований вязкости по Муни наполненных эластомерных композиций.

Из представленных данных установлено, что для резиновой смеси на основе комбинации каучуков СК(М)С-30АРКМ-15+БНКС-18АМН наименьшее пластифицирующее действие оказывает введение ДВЧ с МП 1,0%. Установлено, что значения вязкости резиновых смесей с пластифицирующей добавкой типа ДВЧ в дозировках 2,5 и 7,5 масс. ч. несколько выше (на 13,1 и 17,5% в случае компонента ДВЧ и на 16,4 и 20,5% в случае компонента ДВЧ с МП 0,5% соответственно) по сравнению с композициями, содержащими промышленный пластификатор ПН-6 в аналогичных дозировках.

Выявлено, что пластифицирующие компоненты ДВЧ и ДВЧ + 0,5% МП в дозировках 2,5 и 7,5 масс. ч. оказывают практически аналогичное влияние на показатели, характеризующие пластоэластические свойства резиновых смесей, по сравнению с эластомерными композициями, содержащими в качестве пластификатора широко применяемое в промышленности масло И-20 (различия составляют менее 5%).



#### Вязкость по Муни наполненных резиновых смесей

На основании полученных данных установлено, что изменение вязкости по Муни резиновой смеси на основе комбинации каучуков СК(М)С-30АРКМ-15+БНКС-18АМН при использовании различных пластифицирующих компонентов может быть обусловлено исходной вязкостью самого пластификатора и его совместимостью с эластомерной композицией, содержащей незначительное количество полярного эластомера. Таким образом, при использовании пластификатора типа ДВЧ необходимо учитывать природу исходных эластомеров, а также совместимость модифицирующей присадки с полимером.

Результаты исследования эластомерных композиций на основе комбинации каучуков СК(М)С-30АРКМ-15+БНКС-18АМН, содержащих исследуемые пластифицирующие компоненты на виброреометре ODR 2000, представлены в таблице.

На основании полученных данных установлено, что введение исследуемых пластифицирующих добавок различной природы в эластомерные композиции на основе комбинации каучуков СК(М)С-30АРКМ-15+БНКС-18АМН приводит к изменению кинетических параметров процесса структурирования. Сравнительный анализ значений показателя времени увеличения минимального крутящего момента на 2 единицы ( $t_{s2}$ ) выявил, что введение пластифицирующих компонентов приводит к снижению стойкости к преждевременной подвулканизации на 3,8–11,5% по сравнению с композицией, не содержащей добавки, исключение составляют композиции с ДВЧ с 0,5% МП, для которых значение времени увеличения минимального крутящего

момента на 2 единицы ( $t_{s2}$ ) практически аналогично значениям для композиции без добавки.

**Таблица – Кинетика вулканизации исследуемых резиновых смесей на основе комбинации каучуков СК(М)С-30АРКМ-15+БНКС-18АМН с исследуемыми пластифицирующими компонентами**

Наименование пластифицирующей добавки	Дозировка добавки, масс. ч. на 100 масс. ч. каучука	Время увеличения минимального крутящего момента на 2 ед., мин	Время достижения заданной степени вулканизации, мин	Время достижения оптимальной степени вулканизации, мин	Скорость вулканизации, дН·м/мин
Без добавки	–	2,6	4,5	18,6	7,2
Промышленный пластификатор ПН-6	2,5	2,3	4,4	13,0	6,7
	5,0	2,4	4,2	13,2	6,5
	7,5	2,3	4,0	14,0	6,2
	10,0	2,3	4,0	14,8	5,9
Промышленный пластификатор И-20	2,5	2,3	3,9	10,2	9,2
	5,0	2,3	3,9	10,3	8,9
	7,5	2,3	3,9	10,7	8,4
	10,0	2,3	3,9	11,0	7,8
Исследуемый компонент ДВЧ	2,5	2,3	4,0	14,3	9,4
	5,0	2,3	4,0	14,8	8,2
	7,5	2,4	4,0	15,4	7,6
	10,0	2,5	4,0	15,8	6,2
Исследуемый компонент ДВЧ + 0,5% МП	2,5	2,6	4,3	15,7	9,4
	5,0	2,5	4,1	16,9	7,2
	7,5	2,6	4,2	17,1	8,1
	10,0	2,6	4,3	17,2	6,3
Исследуемый компонент ДВЧ + 1,0% МП	2,5	2,4	4,1	16,6	8,2
	5,0	2,4	4,1	16,8	7,5
	7,5	2,4	4,1	16,9	7,2
	10,0	2,5	4,2	17,1	6,9

Применение пластифицирующих добавок в составе эластомерной композиции на основе полярного и неполярного каучуков приводит к некоторому ускорению процесса формирования поперечных связей в начальный период вулканизации. Так, время достижения заданной степени вулканизации ( $t_{50}$ ) для эластомерной композиции без добавки составляет 4,5 мин, а для композиции с различными пластификаторами находится в пределах от 3,9 до 4,4 мин.

В тоже время было установлено, что время достижения оптимума вулканизации ( $t_{90}$ ) для композиций с пластифицирующими компонентами ДВЧ, как в индивидуальном виде, так и модифицированного МП, меньше по сравнению с композицией без добавки. Так, данный показатель для резиновых смесей, содержащих 2,5 масс. ч. ДВЧ, ДВЧ + 0,5% МП и ДВЧ + 1,0% МП составляет 14,3, 15,7 и 16,6 мин соответственно, а для композиции без добавки – 18,6 мин. Выявлено, что значение показателя оптимума вулканизации для композиций с маслами типа ДВЧ в дозировке 2,5 масс. ч. выше в 1,1–1,3 раза по сравнению с композициями с ПН-6 и в 1,4–1,6 раза с композициями с И-20. Значение времени достижения оптимальной степени вулканизации для резиновой смеси, содержащих 2,5 масс. ч. ДВЧ составляет 14,3 мин, а для композиций с маслами ПН-6 и И-20 – 13,0 и 10,2 мин соответственно. Аналогичные зависимости выявлены и при увеличении дозировки пластифицирующих компонентов.

Влияние пластифицирующих добавок на кинетику вулканизации композиции на основе комбинации каучуков СК(М)С-30АРКМ-15+БНКС-18АМН может быть связано с неопределенностью применяемых эластомеров, совместимостью их с исследуемыми пластификаторами, а также особенностями состава вулканизирующей группы и ее взаимодействием с вводимыми пластификаторами, что приводит к различиям в скоростях протекания различных стадий вулканизации.

УДК 676.014.44:676.2

**П.А. Липницкий, В.Л. Флейшер**

Белорусский государственный технологический университет

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВА КЛЕЕВОЙ КАНИФОЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ГИДРОФОБИЗАЦИИ БУМАГИ И КАРТОНА**

В настоящее время ведущие производители высококачественных клееных видов бумаги и картона в Республике Беларусь вынуждены полностью или частично заменять дорогостоящие и дефицитные первичные волокнистые полуфабрикаты (различные виды беленой и небеленой целлюлозы из хвойных и лиственных пород древесины) на более дешевое и доступное вторичное сырье – макулатуру.

Применяемые на целлюлозно-бумажных предприятиях синтетические проклеивающие эмульсии, полученные на основе димеров алкилкетенов (АКД), являются эффективными только в том случае, если бу-

мажные массы содержат достаточное количество свободных гидроксильных групп, способных участвовать в образовании  $\beta$ -кетозэфиров, придающих бумаге и картону гидрофобные свойства. Волокна макулатурных масс уступают волокнам первичных полуфабрикатов по количеству гидроксильных групп, так как большая их часть «заблокирована» разнообразными частицами ранее введенных функциональных и процессных химикатов.

Таким образом, синтетические проклеивающие эмульсии на основе димеров алкилкетенов не являются эффективными для бумажных масс из макулатурного сырья и возникает необходимость в разработке универсальной проклеивающей эмульсии пригодной для придания гидрофобных свойств бумажным массам различного состава.

Ранее [1] нами был предложен способ получения клеевой канифольная композиция (ККК), которой состоял из стадий:

- получение модификатора (МД), представляющего собой продукт взаимодействия смоляных кислот талловой канифоли с диэтилентриамином;
- получение малеинезированной талловой канифоли (МК);
- смешение МД и МК с получением ККК;
- частичная нейтрализация смоляных кислот ККК 21%-ным едким натром (Щ).

В результате было разработано 3 состава ККК (таблица 1) отличающиеся соотношением МД и МК, а также содержанием свободных смоляных кислот.

**Таблица 1 – Состав и физико-химические свойства ККК**

Номер состава	Состав, мас.ч.				Содержание сухих веществ, %	Содержание свободных смоляных кислот, %
	МД	МК	Щ	Вода		
№ 1	12,5	50,0	12,0	30,0	53,7	35,0
№ 2	25,0	37,5	14,4	27,6	35,9	39,0
№ 3	80,0	80,0	27,8	78,9	61,0	35,2

С целью установления седиментационной стабильности, полученные ККК разводились в воде с образованием 10%-ных канифольных эмульсии (КЭ). Образцы помещали в мерный цилиндр объемом 25 см<sup>3</sup> и визуалью, в течении 10 дней, определяли седиментационную устойчивость. В образцах № 1 и № 2 наблюдалось расслоение системы. Дальнейшие исследования проводились с образцом № 3.

Были определены прочностные и гидрофобные свойства образцов бумаги с введением ККК № 3 (таблица 2).

**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 (целлюлоза)	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 + ККК + 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

Таким образом, разработанная ККК способна придавать образцам бумаги гидрофобные свойствами, которые проявляются при осаждении ее на волокнах бумажной массы электролитом. Проклеивающие свойства ККК зависит от соотношения МК, МД и едкого натра. Варьируя данными соотношениями можно добиться повышенного содержания свободных смоляных кислот, тем самым уменьшить расход ККК необходимый для достижения требуемой степень проклейки бумаги, а также сохранить такой важный параметр, как растворимость в воде.

Для изучения влияния каждого компонента на состав ККК и разработки оптимального состава был спланирован эксперимент с использованием плана 2-го порядка (план Бокса). В качестве независимых переменных были выбраны следующие факторы: X<sub>1</sub> – МК, мас. ч.; X<sub>2</sub> – МД, мас. ч.; X<sub>3</sub> – Щ, мас. ч. Выходные параметры: Y<sub>1</sub> – впитываемость (Кобб<sub>30</sub>), г/м<sup>2</sup>; Y<sub>2</sub> – содержание свободных смоляных кислот, %; Y<sub>3</sub> – разрушающее усилие в сухом состоянии, Н. Основные факторы, а также уровни их варьирования представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Основные факторы и уровни их варьирования**

Уровни варьирования	Факторы		
	МК, мас. ч.	МД, мас. ч.	Щ, мас. ч.
Шаг варьирования, λ	20	20	3
Нижний уровень, (-1)	30	30	14,5
Основной уровень, (0)	50	50	17,5
Верхний уровень, (+1)	70	70	20,5

Реализация плана эксперимента позволит определить влияние соотношения основных компонентов ККК на физико-механические свойства образцов бумаги, такие как впитываемость при одностороннем смачивании, влагопрочность, разрывная длина, разрушающее усилие в сухом и влажном состояниях, а также сформулировать и решить задачу оптимизации с определением оптимального состава ККК.

### **Список использованных источников**

1. Липницкий, П.А. Разработка состава клеевой канифольной эмульсии для гидрофобизации бумаги и картона в нейтральной среде / П.А. Липницкий, Я.В. Боркина, В.Л. Флейшер // 70-я научно-техническая конф. учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ, Минск, 15–20 апреля 2019 г.: в 4 ч. / БГТУ; редкол.: С. И. Шпак [и др.]. – Минск, 2019. – Ч. 2. – С. 22–25.

УДК 620.22-419:678.01:621.89

**М.И. Кузьменков, К.А. Логвина, Д.М. Кузьменков, Н.М. Шалухо**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАКА ОАО «БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД» В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА**

Одним из важнейших направлений, стоящей перед цементной промышленностью в мире, является минимизация содержания клинкера в цементах, а также максимальное вовлечение техногенных продуктов в его производство. Таким техногенным продуктом является электросталеплавильный шлак – отход, образующийся на ОАО «Белорусский металлургический завод». Если доменные шлаки широко и успешно используются в различных технологиях, то электросталеплавильные из-за существенной разницы в их фазовом составе в настоящее время имеют ограниченное применение. Однако в последнее время доменные шлаки перешли в разряд дефицитных. Вовлечение в промышленную переработку электросталеплавильного шлака, являющегося отходом на ОАО «Белорусский металлургический завод» является актуальной задачей, поскольку в отвалах уже накопилось 4,5 млн. тонн, причем ежегодное накопление этого шлака пополняется 700 тыс. тоннами.

Принимая во внимание, что сталелитейные шлаки на разных заводах имеют различный фазовый состав, это диктует необходимость

проведения системного исследования по изучению характера твердофазового взаимодействия в процессе его обжига при получении цементного клинкера. Поскольку в составе электросталеплавильного шлака присутствуют оксиды, способные образовывать легкоплавкие эвтектики, есть основания полагать, что это будет способствовать образованию клинкерного расплава при более низких температурах, что в свою очередь интенсифицирует процессы, протекающие в системах «твердое-жидкость» и снизит расход тепловой энергии на этот процесс.

Сведения об использовании электросталеплавильного шлака ОАО «Белорусский металлургический завод» в качестве железосодержащего компонента цементной сырьевой смеси в литературе отсутствуют, что явилось побудительной мотивацией для проведения поисковых исследований в этом направлении.

Исследования проводили с использованием сырьевой муки ОАО «Белорусский цементный завод» и электросталеплавильного шлака ОАО «Белорусский металлургический завод».

Проведенные поисковые исследования показали экономическую целесообразность использования электросталеплавильного шлака в качестве железосодержащего компонента вместо импортируемой железной руды при производстве цементного клинкера [1].

Экономический эффект от использования электросталеплавильного шлака вместо железной руды будет достигнут за счет его меньшей стоимости и частичной замены карбоната кальция, входящего в состав сырьевой смеси.

При полной замене необходимого количества  $Fe_2O_3$  в составе сырьевой муки, для введения оксида железа в сырьевую смесь с электросталеплавильным шлаком, содержащем  $Fe_2O_3$  в среднем 19 %, требуется около 9% шлака от массы сырьевой смеси, что составит около 0,126 тонны шлака для производства 1 т клинкера. Самой энергозатратной стадией при обжиге цементного клинкера является разложение карбоната кальция, на что затрачивается 96% расходуемой тепловой энергии. Наличие в составе шлака оксида кальция позволит снизить дозировку в муке мела, на разложение которого до оксида кальция в печи затрачивается до 96% тепловой энергии. Кроме того, за счет образования более легкоплавких эвтектик процесс клинкерообразования активизируется, что позволяет снизить температуру обжига клинкера на  $50^{\circ}C$ , что явится дополнительной статьей экономии топливно-энергетических ресурсов.

Согласно проведенным экономическим расчетам по замене используемой в качестве железистого компонента железной руды по цене 20-25 у.е. за тонну на электросталеплавильный шлак (стоимость



1 т менее 1 у.е.), при выпуске одного миллиона тонн клинкера экономический эффект составит около 0,5 млн у.е.

Проведенные в 2016 г. на двух цементных предприятиях, входящих в Белорусскую цементную компанию, испытания в вышеуказанном направлении в целом дали положительный результат. В то же время был выявлен ряд задач, для решения которых требуется проведение дополнительных научных исследований.

Реализация данного технического решения на цементных заводах Республики Беларусь позволит предотвратить дальнейшее накопление шлака в Жлобинском районе, а также снизить выброс в атмосферу парникового газа, что в совокупности обеспечит также еще и значительный экологический эффект.

### **Список использованных источников**

Использование электросталеплавильного шлака для производства цементного клинкера / М. И. Кузьменков [и др.] // Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития : материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию научно-педагогической деятельности профессора Н.М. Бобковой, Минск, 25–27 октября 2017 г. – Минск : БГТУ, 2017. – С. 123–126.

УДК: 631.31:004.94

**М.Н. Лысыч**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОВО-ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО МТА НА БАЗЕ ТРАКТОРА БЕЛАРУС-82.1**

Использование средств трехмерного твердотельного моделирования позволяет эффективно исследовать массо-инерционные характеристики МТА. Это особенно актуально при проектировании новых орудий и проработке возможных схем их агрегатирования с базовым трактором [2-4]. Так, например, агрегаты применяемые в лесном хозяйстве с одной стороны, должны обладать повышенной устойчивостью к опрокидыванию, а с другой, из-за малой ширины захвата требуют многорядного расположения рабочих органов для загрузки трактора и

снижения количества циклов воздействия колес трактора на почву. При этом габариты агрегата увеличиваются, снижая его устойчивость.

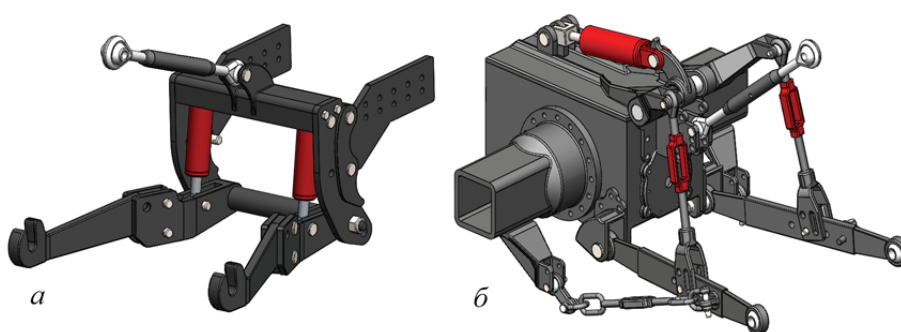
Для исследования массо-инерционных характеристик лесохозяйственных агрегатов была использована CAD SolidWorks позволяющая моделировать в трехмерном пространстве все элементы МТА включая их перемещение по заданным параметрам.

Первой стадией создания расчетных 3d-моделей МТА была разработка детализированной массо-габаритной модели базового трактора МТЗ-82.1 (БЕЛАРУС) (рис. 1).



**Рис. 1 – Детализированная модель трактора МТЗ-82.1**

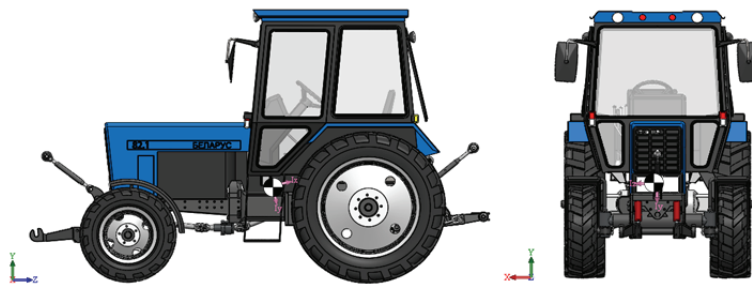
Модель трактора оснащена задним и передним навесными устройствами (рис. 2). Это необходимо для проверки максимального количества возможных вариантов агрегатирования. Геометрия и массо-инерционные характеристики моделей навесных устройств полностью идентичны реальным.



**Рис. 2 – Модели навесных устройств трактора МТЗ-82.1**

*a* – переднее; *б* – заднее

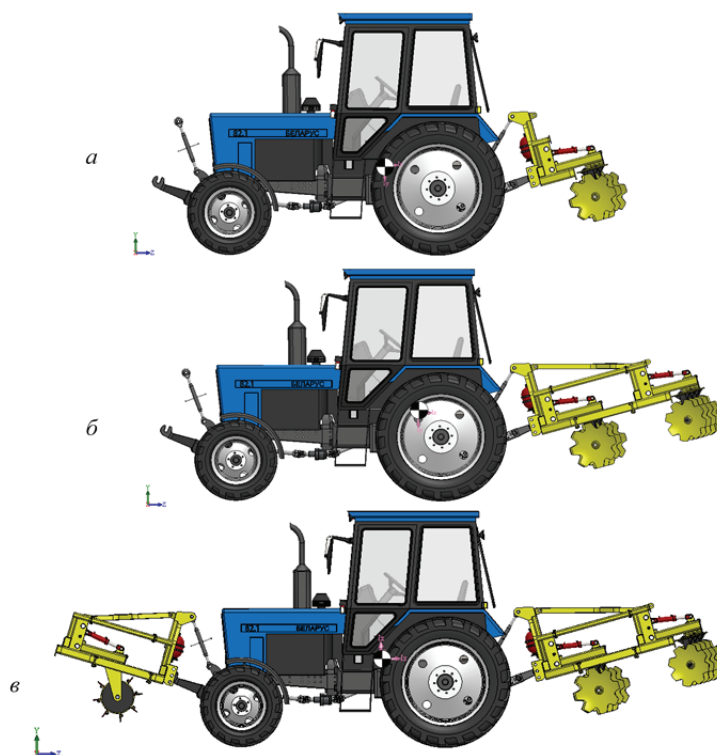
На следующей стадии были заданы материалы для всех моделей и получены их массо-инерционные показатели. Для этого применялись интегрированные средства CAD SolidWorks (рис. 3).



**Рис. 3 – Модель трактора МТЗ-82.1 с отображением центра масс и осей инерции**

Для проверки возможностей компоновки МТА были созданы модели лесохозяйственных навесных модульных почвообрабатывающих орудий [1].

На рисунке 4 приводятся результаты массо-инерционных исследований агрегатов, укомплектованных: *а* – задненавесным однорядным дисковым культиватором; *б* – задненавесным двухрядным дисковым культиватором; *в* – передненавесным катком и задненавесным двухрядным дисковым культиватором.



**Рис. 4 – Массо-инерционные исследования МТА укомплектованных**

- а* – задненавесным однорядным дисковым культиватором;
- б* – задненавесным двухрядным дисковым культиватором;
- в* – передненавесным катком и задненавесным двухрядным дисковым культиватором

Созданные модели МТА позволяют оценить массово-инерционные характеристики различных вариантов компоновки агрегатов и их продольную и поперечную устойчивость. В дальнейшем полученные модели могут использоваться для динамических расчетов в интегрированной программе для инженерных расчетов SolidWorks Motion, либо экспортироваться в более специализированные программы, например, MSC.ADAMS, в которую доступен прямой экспорт.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00920.

### **Список использованных источников**

1. Бартенев И.М., Лысыч М.Н. Общая концепция блочно-модульного построения лесных почвообрабатывающих орудий // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 1. – С. 18–26.

2. Германович А.О. Экспериментальное исследование поперечной устойчивости самоходной рубильной машины // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2013. – № 143. – С. 132–139.

3. Киреев И.М., Коваль З.М. Экспериментально-теоретический метод определения продольной и поперечной статической устойчивости сельскохозяйственных агрегатов // АгроФорум. – 2019. – № 6. – С. 58–62.

4. Колесникович А.Н., Альгин В.Б., Харитончик С.В. Виртуальные испытания транспортных средств на статическую устойчивость // Повышение конкурентоспособности автотранспортных средств: сб. науч. тр. – 2004. – С. 229–233.

УДК: 631.31:004.94

**М.Н. Лысыч**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО МТА НА ВИРТУАЛЬНОМ СТЕНДЕ**

В настоящее время существуют два основных метода определения угла поперечной статической устойчивости МТА. Первый основан на применении стационарных стендов, имеющих платформу, которая наклоняется на различные углы в поперечной плоскости.

Недостатком метода является необходимость наличия стационарного дорогостоящего оборудования, изготавливаемого в единичных экземплярах [3].

Второй метод основан на применении расчетных методик [2]. Его использование позволяет уточнить параметры, входящие в уравнения расчета моментов. Однако с его помощью невозможно учесть динамику процесса, пространственную схему транспортного средства, кинематику подвески, нелинейность упругих характеристик подвески и ограничителей хода. Таким образом, до настоящего времени оценку устойчивости транспортных средств достоверно можно провести лишь в условиях реального эксперимента на стенде с опрокидывающейся площадкой.

Сейчас все более широкое распространение получают методы виртуального моделирования. Так в средах многотельного динамического моделирования (MSC.ADAMS, SolidWorks Motion, LMS Virtual.lab, SimPack, TruckSim) задача исследования статической устойчивости может быть решена в динамической постановке, т. е. воспроизводится поведение объекта при изменении наклона опорной площадки [3].

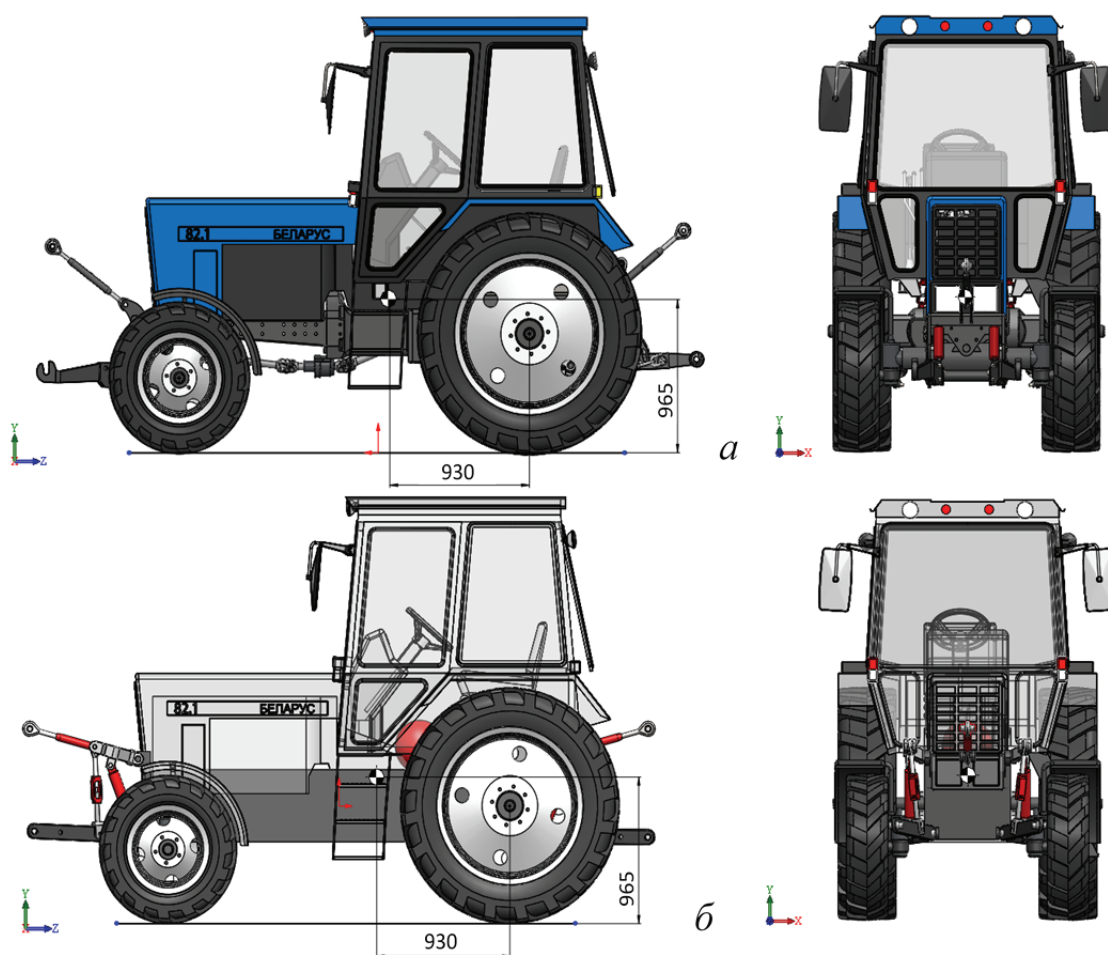
В представленном исследовании для создания имитационной модели МТА использован метод виртуального моделирования в среде CAD SolidWorks и MBD-приложении SolidWorks Motion.

На первой стадии разработана упрощенная модель трактора МТЗ-82.1 (рис. 1). Далее сокращены и исключены из массо-инерционных расчетов все неподвижные элементы трактора (отображены на рисунке в каркасном виде). Для их замены использован равный им по массе шар из пользовательского материала повышенной плотности. Регулировкой положения шара, центр масс упрощенной модели приведен к реальному эксплуатационному центру масс трактора.

На следующей стадии исследования для компоновки имитационной модели МТА созданы упрощенные модели переднего и заднего навесных устройств, обладающие простой легко перестраиваемой параметризованной геометрией и сохраненными массо-инерционными параметрами. Это позволило использовать модели навесных устройств с наименьшей загрузкой вычислительной машины и минимальной вероятностью возникновения ошибок.

Для имитационных исследований модель навесного устройства дополняется виртуальными упругими элементами (рис. 2, а). К центральному кронштейну поперечного ограничителя подвижности навески синхронно перемещающемуся в продольно-вертикальной плоскости с нижними тягами прикладывается точка крепления вирту-

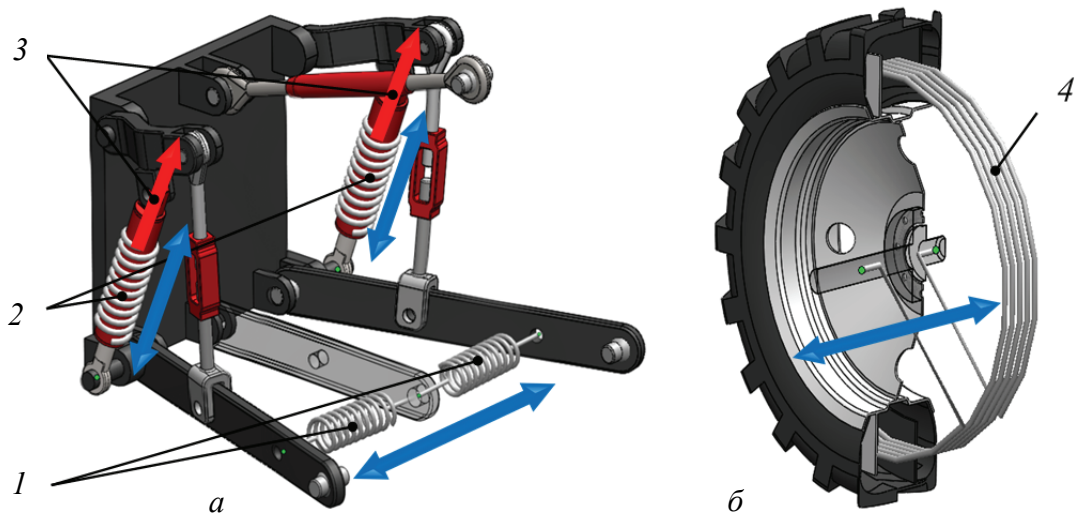
альных пружин 1. Вторая точка крепления располагается на нижних тягах. Другая пара виртуальных пружин 2 устанавливается в центральных точках крепления гидроцилиндров. Заданием жесткости пружин и коэффициентов демпфирования можно моделировать широкий спектр рабочих условий. Перемещение нижних тяг навески производится за счет включения линейных виртуальных двигателей 3, приложенных параллельно к оси цилиндра.



**Рис. 1 – Имитационная модель трактора МТЗ-82.1**

*a* – детализированная модель; *б* – упрощенная модель

Для имитации смещения центра тяжести МТА возникающего в следствии деформации шины модель колеса также дополняется упругими элементами (рис. 2, *б*). Виртуальная пружина 4 соединяет диск колеса и шину имеющую возможность осевого смещения без относительного вращения. Таким образом за счет подбора коэффициентов упругости и демпфирования виртуальной пружины можно достаточно точно смоделировать деформацию шины.



**Рис. 2 – Имитационные модели**  
*a* – навесного устройства; *б* – колеса

Для исследования поперечной устойчивости МТА устанавливается на виртуальный стенд с площадкой меняющей угол наклона (рис. 3).



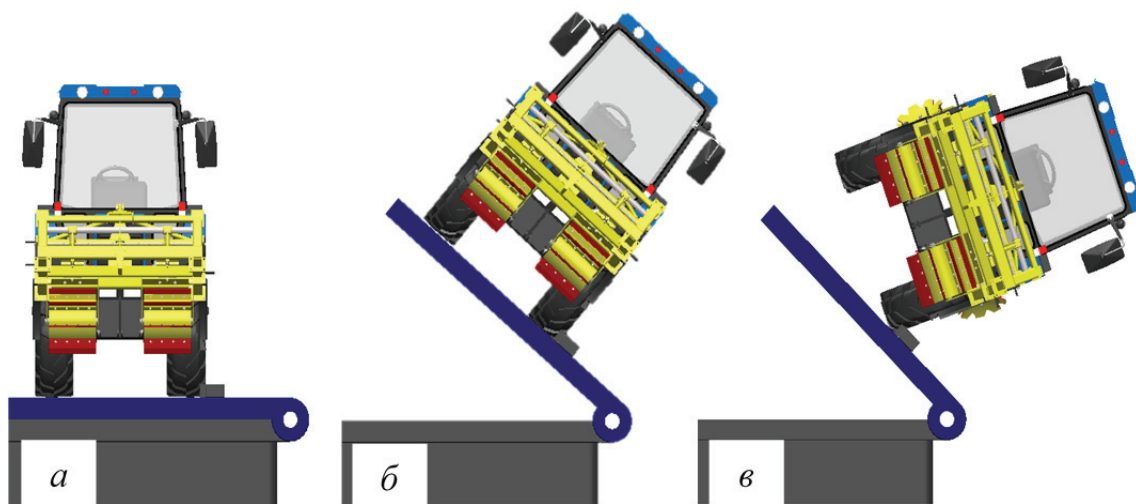
**Рис. 3 – Виртуальный стенд**

На рисунке 4 представлены фазы моделирования процесса опрокидывания МТА оснащенного лесохозяйственными модульными орудиями [1].

Первая фаза (рис. 4, *a*) – установка агрегата на платформу. Продолжительность фазы составляет 10 с. Это время необходимо для



затухания всех колебаний возникающих в виртуальных упругих элементах (виртуальные пружины) и колебаний в контактной паре опорная площадка – колеса трактора (взаимодействие материалов сталь – резина). Вторая фаза (рис. 4, б) – момент начала отрыва колес с фиксацией угла наклона площадки. Третья фаза (рис. 4, в) – опрокидывание агрегата.



**Рис. 4 – Фазы моделирования**

*а* – исходная позиция; *б* – момент отрыва колес; *в* – опрокидывание

Использованный в исследовании метод определения поперечной устойчивости почвообрабатывающего МТА позволяет решать задачу статической устойчивости в динамической постановке, т.е. с учетом поведения подвижных и упруго деформируемых элементов при изменении наклона опорной площадки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00920.

#### **Список использованных источников**

1. Бартенев И.М., Лысыч М.Н. Общая концепция блочно-модульного построения лесных почвообрабатывающих орудий // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 1. – С. 18–26.

2. Киреев И.М., Коваль З.М. Экспериментально-теоретический метод определения продольной и поперечной статической устойчивости сельскохозяйственных агрегатов // АгроФорум. – 2019. – № 6. – С. 58–62.

3. Колесникович А.Н., Альгин В.Б., Харитончик С.В. Виртуальные испытания транспортных средств на статическую устойчивость // Повышение конкурентоспособности автотранспортных средств: сб. науч. тр. – 2004. – С. 229–233.



**ПРИМЕНЕНИЕ УМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПАРКАХ  
НА ПРИМЕРЕ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ПАРКА «ВЕЛИКИЙ КАМЕНЬ»**

Практика последних 40 лет показала на примере таких стран как Китай, Южная Корея, Сингапур результативность строительства индустриальных парков. Индустриальные парки являются точками роста для экономик развивающихся стран. По средствам парков происходит передача в народные хозяйства технологий, управленческих практик и других специальных знаний.

История первых индустриальных парков началась со времен индустриализации Великобритании в XIX веке. Особо активное развитие индустриальные парки получили после окончания Второй мировой войны.

В настоящий момент в мире имеется более 20 тысяч индустриальных парков. Торговый оборот индустриальных парков и других зон развития во всем мире превысил 30% от общемировой торговли.

Индустриальные парки создаются для привлечения инвестиций и создание конкурентоспособных организаций, ориентированных на развитие производств в современных отраслях экономики, с учетом развития инновационной деятельности, научно-исследовательской, торговой, логистической, жилищной и других отраслей, а также для создания новых рабочих мест, содействие социально-экономическому развитию регионов и экспортному потенциалу в целом.

Отличительные черты индустриальных парков [1]:

- 1) принята благоприятная нормативная база для иностранных инвестиций;
- 2) выполнена инфраструктура;
- 3) приняты решения в сфере экономической деятельности;
- 4) предоставлены налоговые льготы.
- 5) Земля принадлежит управляющей компании или арендуется ею, и существует план развития территории;
- 6) управляющая компания помогает резидентам подключаться к коммуникациям, обеспечивает охрану территории, пожарную безопасность и т. д.;
- 7) управляющая компания помогает резидентам организовать свой бизнес, обладая определенными полномочиями по размещению

объектов в пределах индустриального парка и выступая посредником между инвестором и региональной администрацией;

8) управляющая компания оказывает инвесторам набор деловых услуг (секретарские, курьерские, логистические, бухгалтерские, поиск персонала и т. д.);

9) управляющая компания согласовывает проекты зданий, управляет строительными проектами, предлагает в аренду собственные здания на территории парка .

Индустриальные парки классифицируются [2]

а) по форме собственности:

– государственные;

– частные;

– смешанные.

б) по структуре участников:

– универсальные (отсутствует ориентация на конкретных якорных резидентов);

– специализированные (с одним или несколькими якорными резидентами);

в) по статусу:

– «браунфилд» (готовые производственные площади предоставляются в аренду резидентам);

– «гринфилд» (резиденту предоставляется участок земли с подведенными инженерными сетями к его границам);

– комплексные;

Индустриальный парк «Великий камень» был образован в 2010 г. и является административной единицей со специальным правовым режимом.

Под индустриальный парк выделена территория, превышающая более 112 км<sup>2</sup>. Парк расположен на 25 км восточнее Минска. В непосредственной близости от парка расположены следующие инфраструктурные объекты:

– национальный аэропорт «Минск»;

– магистральные автодороги М1 и М2 (планируется также построить дополнительную автодорогу из парка в Минск);

– железная дорога (планируется построить станцию в парке);

– ближайший морской порт г. Клайпеды находится на расстоянии менее 500 км.

В настоящий момент в парке инвесторам предоставляются привлекательные условия для развития бизнеса:

– «политика 10+» (0% налога на прибыль на 10 лет и последующая их уплата по ставке пониженной в 2 раза до 2062 года);

- земельный налог – 0% на период работы предприятия;
- Налог на недвижимость – 0% на период работы предприятия
- Таможенный НДС и пошлины (0% на товары для старта проекта и 0% при экспорте за пределы ЕАЭС);
- Налог на дивиденды – 0% в течение 5 лет с момента объявления прибыли
- Подоходный налог – 9%
- Отчисления в ФСЗН 35% от средней по стране (не от фактически начисленной)
- НДС – возврат из бюджета;

В настоящий момент идет освоения участка первоочередного освоения площадью 8,5 км<sup>2</sup>. Создается развитая межквартальная инфраструктура. Резидентам предоставляется на выбор возможность установки своих производств по принципам Greenfield и Brownfield. В настоящий момент в парке реализуют свои бизнес-проекты более 40 резидентов.

Градостроительный проект индустриального парка «Великий камень» выполнен по кластерному принципу. Выделены следующие зоны-кластеры:

- промышленный комплекс;
- объекты логистики и хранения;
- инженерные сооружения (коммунальное хозяйство);
- жилищное строительство;
- многофункциональный торгово-коммерческий, культурно-развлекательные комплексы и административных комплексов;
- резервные территории.

В индустриальном парке «Великий камень» реализуется экологическая политика и концепции «Умный город».

«Умный город – это инновационный город, который использует информационно коммуникативные технологии и другие средства для того, чтобы улучшить качество жизни, эффективность городской эксплуатации и услуг и конкурентоспособности, гарантируя, что он отвечает потребностям нынешнего и будущих поколений в отношении экономические, социальные и экологические аспекты».

В настоящий момент в индустриальном парке «Великий камень» в рамках концепции «Умный город» реализуется следующее:

- ведется анализ производств на вредные выбросы. Планируется в режиме реального времени анализировать показатели воздуха на соответствие выбросов норме и мгновенно находить источник повышенных загрязнений;

– ведется работа по запуску рейсовых электробусов по маршруту «Минск- Индустриальный парк «Великий камень»;

– реализуются проекты по применению энергии из возобновляемых источников (установка тепловых насосов);

– ведется работа по созданию управляющего комплекса инженерными системами, который способен моментально в автоматическом режиме принять решение о работе об оптимальном режиме работы систем и действиях при аварии.

– ведется работа по поиску и внедрению синергетических эффектов в производственных процессах различных резидентов;

Учитывая многолетний опыт развития индустриальных парков в Китае и других странах, а также принимая во внимание жесткую конкуренцию среди индустриальных парков за возможных инвесторов, приходит понимание что льготных экономических условий недостаточно для процветания индустриального парка. Реализуемые элементы концепции «Умного города» уменьшают риски аварийных ситуаций, приводят к экономии ресурсов и уменьшают вредное воздействие на окружающую среду.

#### **Список использованных источников**

1. Индустриальные парки: анализ территориальной активности Аверкин М. Г., Крюкова Т. М., Медников О. А.

2. Индустриальные парки – новый формат организации промышленного комплекса региона И.В. Митрофанова, Е.В. Родионова, М.Г. Майорникова.

УДК674.093.6:502.174

**А.И. Максименков, О.П. Багно**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

#### **ЛЕСОПИЛЬНОЕ ЛЕНТОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ – РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

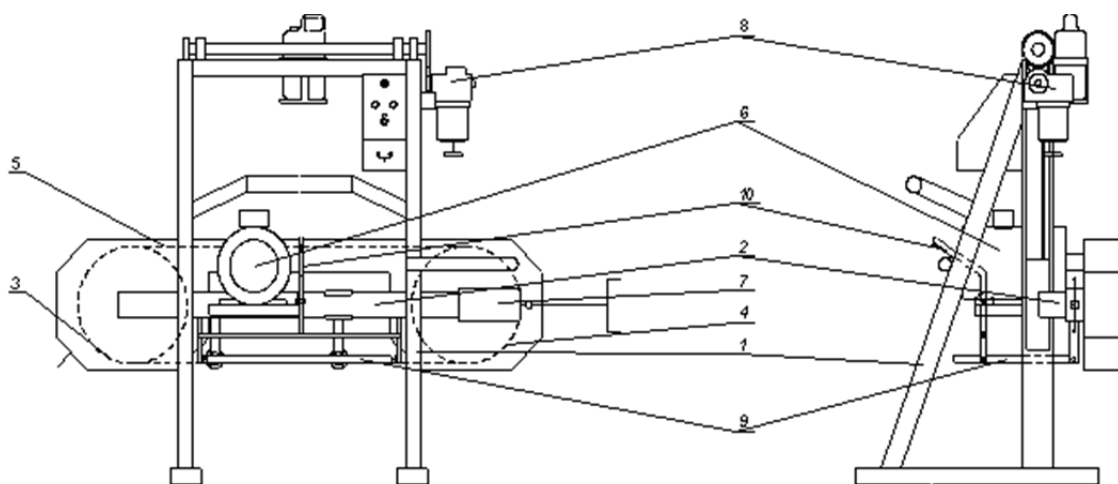
В настоящее время лесным кодексом РФ решаются задачи направленные на широкое применение ресурсосберегающих технологий, увеличения объемов несплошных рубок.

Одной из энергоемких и наиболее важных технологических операций при переработке древесины от рубок ухода является ее распиловка на пиломатериалы. Значительная часть пиломатериалов на

современных лесобработывающих производствах получается при использовании лесопильных рам и круглопильных станков. При существующей технологии переработки и применяемом оборудовании (лесопильные рамы и круглопильные станки), деловой выход древесины с учетом пороков, очень низок и не превышает 50–60%, что приводит к нерациональному использованию ресурсно-сырьевой базы Европейской части России, особенно в лесодефицитной степной и лесостепной зонах Центрально-Черноземного региона, юга России и стран ближнего зарубежья. Вместе с тем растет заинтересованность в использовании ленточнопильного оборудования, более перспективного с точки зрения производительности, энергоэффективности и требований к качеству поверхности пиломатериалов.

В настоящее время на рынке России существует более двух десятков горизонтальных бревнопильных станков с узкой ленточной пилой, где наряду с зарубежными конструкциями предлагаются конкурентоспособные отечественные модели.

С целью снижения металлоемкости и энергоемкости нового ленточнопильного оборудования был разработан лабораторный стенд и опытный образец малогабаритного ленточнопильного станка, обеспечивающая качественную распиловку лесоматериалов, защищенные патентами на полезные модели № 26475, № 32425, № 73267, № 89445 и на изобретение № 2443546 с обоснованными конструктивно-технологическими параметрам (рисунок 1).



**Рис. 1 – Малогабаритный ленточнопильный станок**

Новая конструкция горизонтального ленточнопильного станка содержит станину 1, пильный узел 2 с приводным 3 и натяжным 4 шкивами, на которые установлена пильная лента 5. На станке смонтирован привод 6 пильного узла 2. Станок снабжен гидравлическим механизмом

натяжения 7 пильной ленты, приводом вертикальной регулировки 8 пильного узла 2. На пильном узле 2 с внутренней стороны установлено расклинивающее устройство 9 с подъемным механизмом 10. Пильный агрегат движется по направляющему пути рельсового типа; распиливаемый материал закрепляется на направляющем пути с помощью специальных зажимов.

При использовании в конструкции станка расклинивающего элемента удастся избежать следующих негативных процессов, характерных для ленточнопильных станков: повышенный нагрев пилы и увеличение напряжений в пильной ленте, которое происходит из-за зажатия пильной ленты отпиливаемой доской в пропиле; неудовлетворительное качество пилопродукции из-за вибрационного воздействия на заднюю кромку ленточной пилы отпиленной части доски, что дополнительно приводит к снижению эксплуатационного срока службы ленточной пилы.

Установлено, что в случае изменения угла подъема отпиленной пласти изменение условий трения пилы и стружки в пропиле с древесиной в зависимости от угла подъема отпиленной пласти учитывается двумя способами: с помощью рассчитанного поправочного множителя на путь резания и коэффициента относительного влияния силы трения.

Снижение главной составляющей силы и мощности резания с увеличением угла подъема отпиленной пласти интенсивнее для меньших величин подачи на зуб [1].

Дифференциальные уравнения движения упругой системы станка в установившемся движении во время пиления древесины, которые получены на основании уравнения Лагранжа второго рода, имеют вид:

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\phi}_1 + k_1 (\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) + c_1 (\phi_1 - \phi_2) = M_{дв}; \\ J_2 \ddot{\phi}_2 - k_1 (\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) + k_2 (\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3) - c_1 (\phi_1 - \phi_2) + c_2 (\phi_2 - \phi_3) = -M_{P_2}; \\ J_3 \ddot{\phi}_3 - k_2 (\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3) - c_2 (\phi_2 - \phi_3) = 0; \\ m_s \ddot{s}_2 - k_s (\dot{s}_1 - \dot{s}_2) - c_s (s_1 - s_2) = -P_y^{зв}. \end{cases} \quad (1)$$

Полученная система дифференциальных уравнений позволяет исследовать: движение упругой системы ленточнопильного станка с учетом действия внешних сил; определить составляющие силы резания; определить свободные колебания механизма резания, при условии приравнивания к нулю в правых частях уравнений внешней нагрузки.

Применение новых конструкций малогабаритного ленточнопильного оборудования с обоснованными технологическими параметрами позволит обеспечить ресурсосбережение за счет снижения энергозатрат,

примерно в 2–2,5 раза, увеличение выхода деловой древесины на 6–8%, что в пересчете на 100 м<sup>3</sup> составляет 8 м<sup>3</sup> готовой пилопродукции, тем самым обеспечивая экономический эффект при распиловке твердолиственных пород (дуб, бук, граб, ясень) в размере 30–50 тыс. руб., хвойных (сосна, ель, лиственница) – 15–17 тыс.руб, мягколиственных (осина, береза, тополь, ольха) –5–8 тыс. руб и повышения производительности технологического процесса на 5–7%. Помимо этого, за счет снижения количества дополнительных операций (фугование, строгание) возможно получить экономический эффект в размере 3–5 тыс. руб. со 100 м<sup>3</sup> за счет сокращения потерь в отходы на 1,5–3%.

#### **Список использованных источников**

1. Кедров, С. С. Колебания металлорежущих станков [Текст] / С. С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 199 с.

УДК 659.154

**Д.М. Медяк, Д.М. Урбанович**  
Белорусский государственный технологический университет

### **УПАКОВКА ТОВАРА – ГАРАНТИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

Тара и упаковка используются человечеством с самых ранних этапов человеческой цивилизации. Особенно интенсивно индустрия упаковочных материалов стала развиваться в конце XIX – начале XX вв., когда в обиход вошли пленочные и пластмассовые упаковочные материалы.

Упаковка – средство или комплекс средств, обеспечивающих защиту продукции от повреждения и потерь, окружающей среды от загрязнений, а также обеспечивающих процесс обращения продукции – транспортирование, хранение и реализация. В свою очередь, упаковка должна обладать защитными, потребительскими, экологическими и рекламно-эстетическими свойствами [1].

И хотя защитные свойства должны обеспечивать сохранность продукта с момента упаковки до момента потребления и предусматривать защиту продукции от подделки, в последнее время случаи фальсификации товаров участились. Особенно это касается продукции пищевой, фармацевтической и парфюмерно-косметической промышленности [1]. По данным Организация экономического сотрудни-

чества и развития (ОЭСР), за один год (2013 г.) количество контрафактных товаров составило 2,5% всего мирового импорта, объем торговли подделками превысил 461 миллиард долларов. Чаще всего, по мнению специалистов, подделываются американские, итальянские и французские бренды.

Рассмотрим ситуацию с подделкой товаров в Республике Беларусь и с фальсификацией белорусских брендов за границами Республики. Несколько лет назад, в Брянске, был обнаружен факт продажи поддельной сгущенки под Рогачевской маркой. Некоторые псевдопроизводители, пытались держать марку, делая более правдоподобной этикетку и разливая продукт в жестяные банки, для чего требовалось дорогостоящее оборудование. Но большинство использовало дешевую упаковку дой-пак. Практически все фальсификаторы указывали не свой настоящий адрес, а Рогачевского комбината [2].

На сегодняшний день, одно из первых мест по объемам реализации фальсифицированной пищевой продукции занимает алкоголь. Такой товар может нанести вред не только здоровью граждан, но и экономике, т.к. налоги от таких продаж не поступают в бюджет. Такие напитки чаще всего поступают из России и Казахстана. Большой фальсификации подвержены элитные марки алкогольной продукции, при производстве которой зачастую вместо этилового спирта применяется метиловый. Так, в 2016 году в Иркутске отравилось 122 человека, 74 из которых погибло, после употребления концентрата, в состав которого входил метанол [3].

Для того чтобы оценить, какие свойства наиболее важны для современной фирменной упаковки пищевой продукции, был проведен экспертный опрос по методу ранговой корреляции. В качестве экспертов выступали работники типографии, потребители продукции, преподаватели. Рассматривались следующие параметры упаковки: экономичность изготовления упаковки К1, защита от подделки К2, качество исполнения К3, дизайн К4, цветовая гамма К5, информационное содержание К6, безопасность использования К7, экологичность К8, срок изготовления К9, удобство использования К10, возможность транспортировки и хранения продукции К11, надежность защиты продукта К12, совместимость с упаковываемым продуктом К13.

Экспертный опрос по методу ранговой корреляции основан на том, что каждый из  $m$  экспертов ( $m = 7$ ), участвующих в опросе, присваивает каждому из оцениваемых  $n$  объектов ( $n = 13$ ) некоторое ранговое число. При этом наиболее важное свойство занимает 1-ое место, следующее – ранг 2 и т. д. в порядке убывания значимости. Число рангов  $k$  (в данном случае  $k = 5$ ) не совпадает с числом объектов  $n$ , поэтому эксперты присваивают разным объектам один и тот же ранг.



Результаты экспертного опроса были представлены в виде матрицы, элемент  $u_{ij}$  которой соответствует ранговому числу, поставленному  $i$ -тым экспертом для  $j$ -того свойства. Поскольку число рангов меньше, чем число оцениваемых объектов ( $k < n$ ), поэтому для обеспечения возможности применения метода ранговой корреляции объектам присваивают нормированные ранги. Нормированные ранги соответствуют среднему арифметическому суммы мест, которые занимают объекты с одинаковыми рангами. Матрица нормированных рангов представлена в таблице.

**Таблица – Матрица нормированных рангов**

Эксперт	КК1	КК2	КК3	КК4	КК5	КК6	КК7	КК8	КК9	КК10	КК11	КК12	КК13
1	13	3	3	7,5	11	11	7,5	7,5	11	7,5	3	3	3
2	10	2,5	2,5	6	10	12,5	6	8	10	6	2,5	2,5	2,5
3	9	4,5	9	1	4,5	11,5	4,5	4,5	9	11,5	4,5	4,5	4,5
4	9	2,5	2,5	9	9	12	9	2,5	13	5,5	5,5	5,5	2,5
5	5,5	5,5	5,5	10	5,5	10	12	5,5	13	1,5	1,5	1,5	10
6	10,5	1	4	4	4	10,5	8	4	12,5	8	4	4	8
7	8	1	8	8	3	13	12	8	8	3	3	3	8
Σ	65	20	34,5	45,5	47	80,5	59	40	76,5	43	63,5	24	38,5

Последняя строка таблицы содержит суммы нормированных рангов для каждого свойства упаковки. Более важному параметру соответствует минимальная сумма рангов. Свойства упаковки расположились в порядке убывания значимости следующим образом: К2 (защита от подделки), К12 (надежность защиты продукта), К3 (качество исполнения), К13 (совместимость с упаковываемым продуктом), К8 (экологичность), К10 (удобство использования), К4 (дизайн конструкции), К5 (цветовая гамма), К7 (безопасность использования), К11 (возможность транспортировки и хранения продукции), К1 (себестоимость изготовления упаковки), К9 (срок изготовления), К6 (информационное содержание).

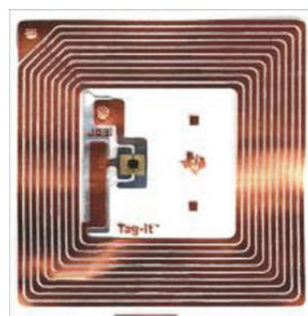
Следовательно, эксперты считают одним из важных свойств фирменной упаковки пищевой продукции защиту от подделки. Наиболее эффективными способами защиты упаковки на сегодняшний день являются методы, основанные на использовании информационных технологий, таких как нанесение QR-кода на продукцию и технология RFID.

QR-код (англ. Quick Response Code – код быстрого реагирования) – это способ аутентификации товаров, облегчающий ведение

учета. Двухмерный код представляет собой чёрные квадраты, расположенные в квадратной сетке на белом фоне и печатается на упаковке вместе с другой информацией о продукте. Пример QR-кода представлен на рисунке. Он может считываться смартфонами или другими устройствами и распознаваться специальными программами. В QR-коде может быть зашифрована любая информация. В случае упаковки товара кодируется, например, ссылка на сайт производителя продукции, где можно уточнить информацию о дате выпуска продукта, номере серии и т.д., таким образом проверив его подлинность. Это позволяет использовать QR-код в качестве удобного защитного и маркетингового инструмента в пищевой, фармацевтической, косметической и других отраслях промышленности [4].

RFID-технология (англ. Radio Frequency IDentification – радиочастотная идентификация) – метод автоматической идентификации объектов, в котором с помощью радиосигналов считываются и записываются данные, хранящиеся в RFID-метках.

RFID-система состоит из считывающего устройства и RFID-метки. Метка представляет собой миниатюрное запоминающее устройство в виде самоклеящейся этикетки, которая наклеивается на упаковку или внутрь товара (например, книги). Она состоит из микрочипа, который хранит информацию, и антенны, с помощью которой метка передает и получает информацию. Когда метка попадает в зону регистрации, ее сигнал принимается считывающим устройством [5].



Пример QR-кода и RFID-метки

Сфера применения RFID постоянно расширяется. Особенно технология востребована в тех отраслях, где требуется контроль перемещения объектов в реальном времени, интеллектуальные решения автоматизации, способность работать в жестких условиях эксплуатации, безошибочность скорость и надежность [5]. В частности, в индустрии потребительских товаров и розничных продаж RFID-системы отслеживают товар на всех этапах цепи поставки, от производителя до прилавка. Товар вовремя выставляется на полку, не залеживается на скла-

де и отправляется в те магазины, где на него более высокий спрос. Одновременно решается вопрос защиты товара от подделки на промежуточных этапах поставки и предотвращается возможность хищения товара из торгового зала магазина.

Таким образом, информационные технологии позволяют защитить современное общество и потребителей от подделок товаров.

### **Список использованных источников**

1. Федько В. П. Товарная политика организации: учебник. Питер, 2018. 258 с.

2. Сделано в подвале: В России подделывают белорусскую сгущенку // Новости Гомеля и Гомельской области [электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <http://gp.by/category/news/society/news127280.html>. – Дата доступа: 27.11.2019.

3. Понял, что теряю зрение // Tut.by – Белорусский портал [электронный ресурс]. 2016. Режим доступа: <https://news.tut.by/world/524910.html>. Дата доступа: 29.11.2019.

4. Нанесение QR-кода на упаковку // Защита от подделок [электронный ресурс]. 2017. Режим доступа: <https://original.su/company/onas/novosti/nanesenie-qr-koda-na-upakovku/>. – Дата доступа: 01.12.2019.

5. RFID и штрих-код // Автоматизация бизнеса [электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: [https://www.vostok.dp.ua/infa1/rfid/rfid\\_i\\_shtrikhovoe\\_kodirovanie/](https://www.vostok.dp.ua/infa1/rfid/rfid_i_shtrikhovoe_kodirovanie/). Дата доступа: 02.12.2019.

УДК 630\*37.001.63

**К.А. Меняйлов**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МАНИПУЛЯТОРА АВТОСОРТИМЕНТОВОЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Созданию и внедрению манипуляторов высокого технического уровня препятствует то, что еще некоторые вопросы кинематики, динамики и компоновки манипуляторов недостаточно исследованы.

В настоящее время для моделирования работы кранов-манипуляторов преимущественно используются аналитические методы, такие как «ручное» составление и решение уравнений Лагранжа II ро-

да, либо еще более простые оценочные расчеты, основанные лишь на базовых понятиях теоретической механики. Если такие сложные системы моделировать указанными аналитическими методами, приходится вводить целый ряд допущений, которые сильно упрощают математическую модель, и уровень ее адекватности оказывается крайне низким [1, 2].

Часто используются численные методы моделирования механизмов, которые реализуются через языки программирования, путём детального описания изучаемого процесса. Также применяют современные системы автоматизированного проектирования, в которых численные методы встроены на уровне ядра программы и требуют от ученого задания основных геометрических, динамических и кинематических параметров механизма и окружающей среды, после чего позволяют рассчитать параметры функционирования исследуемого объекта [2, 3, 4].

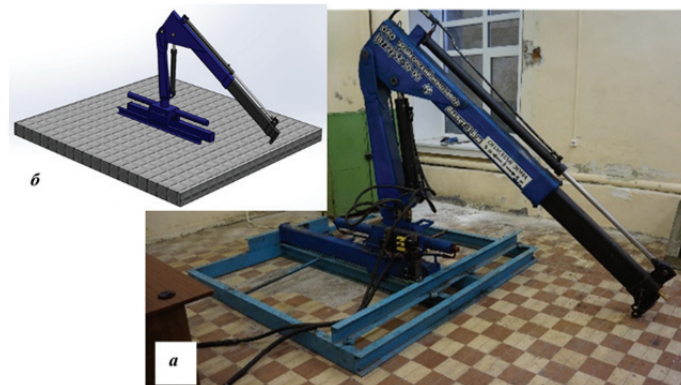
Последовательность создания имитационной модели манипулятора ЛВ-210-02 (рис. 1, *а*) с применением САПР SolidWorks.

В первую очередь создаются отдельные элементы конструкции и задаются материалы, из которых они изготовлены. Это позволяет определить массовые характеристики 3D-моделей. Затем, полученные детали компонуются в сборочном чертеже посредством задания характера сопряжения отдельных элементов. Полученная 3D-сборка полностью воспроизводит кинематику реального объекта и может использоваться для кинематических исследований и анимации рабочего процесса манипулятора в реальном времени (рис. 1, *б*). Далее – создание имитационной модели. Для этого используются CAE-приложения способные не только имитировать движение, но и получать данные о различных кинематических, динамических и силовых характеристиках процесса. Использовалась программа Motion, интегрированная в САПР SolidWorks и обладающая требуемым функционалом.

На рисунке 1, представлена имитационная модель манипулятора (*б*) и стационарная лабораторная установка (*а*), предназначенная для проведения лабораторных исследований дистанционного управления манипулятором [1].

Процесс создания имитационной модели включает следующие этапы: создание 3D-модели, полностью воспроизводящей кинематику и массовые характеристики реального манипулятора; приложение к штокам гидроцилиндров линейных двигателей; приложение к механизму поворота колонны углового двигателя; создание на временной шкале ключевых точек, обеспечивающих включение и выключение

двигателей, изменение их скоростей; установка датчиков, фиксирующих требуемые физические параметры процесса (напр. силы, возникающие на приложенных двигателях, скорости движения звеньев и т. п.).

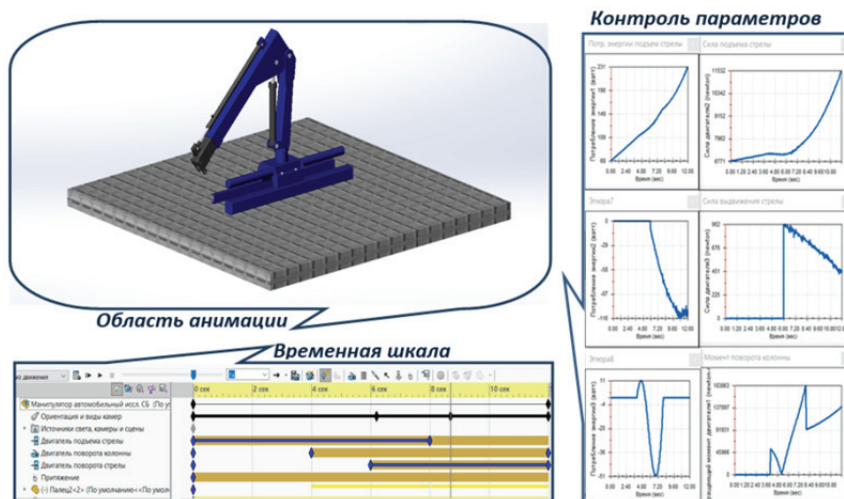


**Рис. 1 – Автомобильный манипулятор**

*a* – лабораторная установка; *б* – имитационная модель

На рисунке 2 приводится снимок рабочего окна программы SOLIDWORKS Motion во время моделирования рабочего процесса. Для отслеживания изменений в реальном времени выведены некоторые ключевые характеристики.

Новизна предлагаемого подхода к моделированию манипулятора заключается в комплексном применении параметрического 3D-моделирования. Это позволяет создать не только конструкторскую документацию, но и произвести исследования рабочего процесса с применением CAE-приложений.



**Рис. 2 – Рабочее окно CAE программы SOLIDWORKS Motion во время моделирования рабочего процесса манипулятора на виртуальном стенде**

Рассмотренная имитационная модель дает возможность изучить работу манипулятора при различных рабочих режимах и выбрать оптимальные траектории его движения, позволяющие обеспечить максимальную производительность и безопасность рабочего процесса.

Для проверки работоспособности и адекватности предлагаемой имитационной модели был проведен виртуальный эксперимент. В эксперименте моделировалось движение манипулятора по сложной траектории, задачей которого был выход в определенную точку. Для этого осуществлялось параллельное включение двигателей подъема стрелы (0...7,33с), поворота стрелы (3,65...12с) и выдвижения стрелы (6...12). Таким образом, обеспечивалось совмещение до 3 операций (временной участок 6...7,33 с) (рис. 3).

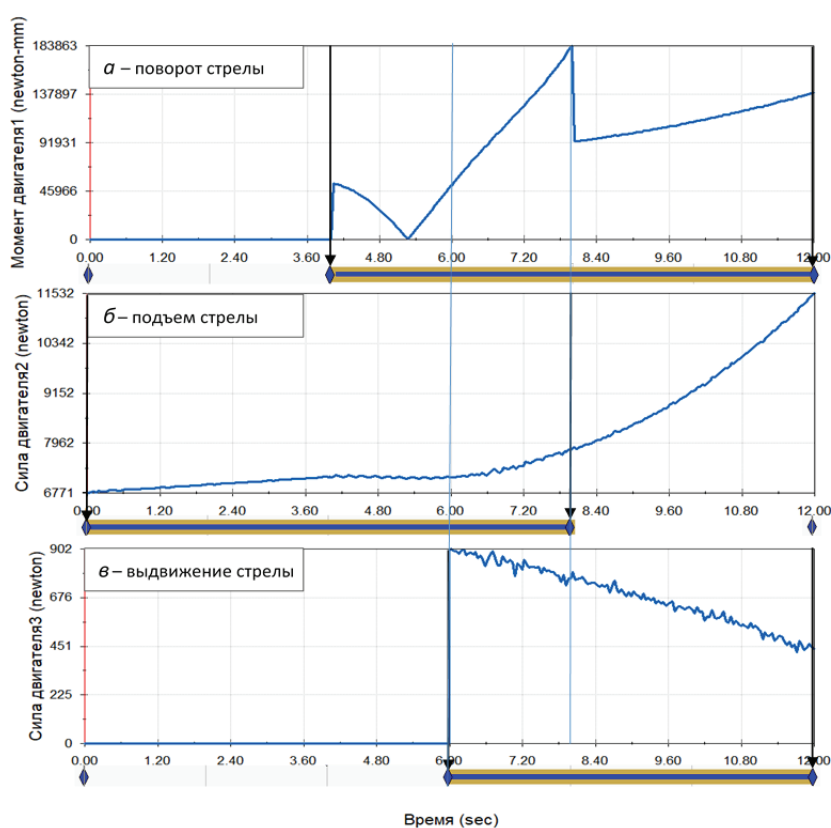


Рис. 3 – Графики сил на виртуальных двигателях

Как видно из графиков, представленных на рисунке 3, использование имитационной модели позволяет в режиме реального времени производить оценку динамической нагруженности манипулятора.

Дальнейшим развитием имитационной модели будет установка манипулятора на различные базовые машины и исследование устойчивости агрегата в разнообразных рабочих режимах, в том числе с учетом свойств опорных поверхностей. Также возможно моделирование

процесса перемещения грузов разной пространственной конфигурации с использованием различных схем крепления.

Отдельно отметим возможность исследования оптимальных траекторий движения манипулятора на их допустимость с точки зрения динамических нагрузок на элементы конструкции манипулятора, устойчивость агрегата и раскачивание груза.

Таким образом, имитационная модель манипулятора, способная полностью воспроизводить кинематику реального манипулятора, дает возможность исследования как отдельных операций (подъем стрелы, выдвижение стрелы, поворот колонны), так и их различных комбинаций. Важным преимуществом имитационной модели является возможность визуального контроля в реальном времени и наличие функций создания анимации рабочего процесса. Это позволяет оценить правильность работы имитационной модели и проработать оптимальные траектории движения манипулятора.

#### **Список использованных источников**

1. Посметьев В.И., Никонов В.О. Повышение эффективности лесовозного автомобиля с помощью рекуперативного гидропривода / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131. – С. 100–113. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/131/pdf/54.pdf>

2. Шеленков А.Н., Колесников П.Г. Использование 3D моделирования для расчета гидроманипуляторов / Шеленков А.Н., Колесников П.Г. // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 3. – С. 56–57.

3. Колесников П.Г., Моисеев Г.Д. Применение аппарата трёхмерного твердотельного моделирования в САПР "SolidWorks" при расчёте элементов гидроманипуляторов / Колесников П.Г., Моисеев Г.Д. // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2013. – № 18. – С. 148–150.

4. Посметьев В.И., Никонов В.О., Посметьев В.В. Компьютерное моделирование рекуперативного тягово-сцепного устройства лесовозного автомобиля с прицепом / Посметьев В.И., Никонов В.О., Посметьев В.В. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – № 4 (370). – С. 108–123.

5. П.И. Попиков, Д.В. Обоянцев, К.А. Меняйлов Эффективность применения рекуперативного привода на лесных машинах / П.И. Попиков, Д.В. Обоянцев, К.А. Меняйлов // Лесотехнический журнал. – 2012. – № 3 (7) – С. 95–98.

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ТИПОВ ДВИЖИТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН**

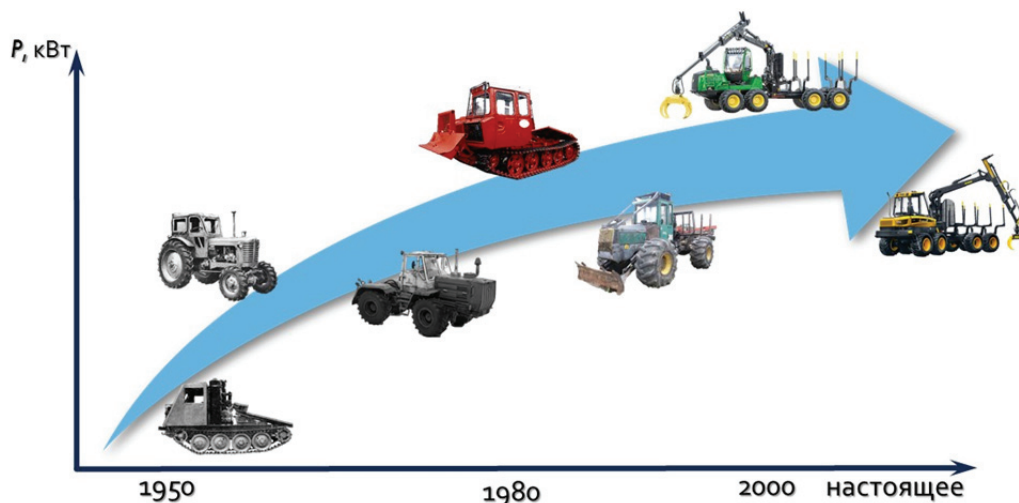
Одной из основных и трудоемких операций лесозаготовительного производства является подвозка (трелевка) лесоматериалов с пасеки на погрузочный пункт, верхний и промежуточный склады и непосредственно потребителю. От технического совершенства машин, которые применяются на транспортных операциях при выполнении лесосечных работ, во много зависит эффективность всего технологического процесса заготовки лесоматериалов.

Условия, при которых осуществляется движение лесотранспортных машин, являются сложными и экстремальными с точки зрения машины. А если затронуть вопрос экологического воздействия, то число ограничений и требований, которые накладываются на конструкцию трелевочных и транспортных машин, увеличивается. Эти ограничения в первую очередь затрагивают ходовые системы и движители, в частности.

Первые трелевочные машины и трактора были выполнены на гусеничном ходу и использовались при трелевке хлыстов и деревьев. После того как была создана специализированная сельскохозяйственная техника с колесным движителем, их начали использовать и для работ в лесу. По скоростным характеристикам они были лучше гусеничных. Однако они не были приспособлены для сложных и специфических условий работы на лесосеке. И тогда началась работа по созданию специализированных лесных машин с колесной ходовой системой. С тех пор, курс был взят на совершенствование колесной техники. Однако гусеничные машины продолжали использовать повсеместно, так как они могли работать в самых сложных условиях.

Дальнейшая эволюция развития лесного машиностроения постепенно развивалась в сторону увеличения мощностных показателей машины, ее проходимости, скоростных и тяговых характеристик (рисунк 1). Это вело и к увеличению массы машин. Позже было отмечено негативное влияние тяжелых и мощных машин на лесные почвы и корневую систему насаждений. Со временем требования по созданию экологически безопасной лесной техники ужесточались, но вместе с тем, росла и потребность в древесных ресурсах, а вместе с ним и ежегодные объемы заготовок. Все эти требования и условия диктуют соответствующие условия для производителей лесной техники.





**Рис. 1 – Эволюция развития трелевочных машин и тракторов**

В настоящее время на лесозаготовительных предприятиях Республик Беларусь и Европейской части Российской Федерации наибольшее распространение получили три типа движителя (рисунок 2).

- Колесные (4К4, 6К6, 8К8, 140К8)



- Гусеничные



- Комбинированные



**Рис. 2 – Типы движителей лесных машин**

Сегодня в лесной промышленности и лесном хозяйстве Республики Беларусь большее распространение получили трактора с колесным движителем. Их преимущество в более высоких транспортных скоростях, что обеспечивает их высокую производительность при выполнении транспортных операций. Однако их использование ограничено при работе на грунтах с низкой несущей способностью и на участках леса с пересеченной местностью с уклонами более  $16^\circ$ . В этом случае целесообразно применение техники с гусеничным движителем. Дан-

ный тип движителя имеет бесспорные преимущества в преодолении препятствий, что также повышает его проходимость по сравнению с колесными. Многоосные полноприводные колесные машины в этом отношении также уступают гусеничным. Кроме того, следует учитывать, что привод колес этих машин значительно сложнее.

Тем не менее, существенными недостатками гусеничного движителя по сравнению с колесным являются сравнительно низкий КПД и значительно меньшая долговечность.

Можно сделать вывод, что колесные и гусеничные типы движителя являются эффективными при определенных природно-производственных условиях. Наиболее универсальным способом обеспечения ритмичной работы техники практических в любых условиях местности является комбинированный (колесно-гусеничный) тип движителя, который включает в себя преимущества обеих ходовых систем.

Данный движитель применяется для обеспечения возможности работы колесных лесных машин на заболоченных лесосеках. То есть, одна и та же машина в зависимости от условий эксплуатации может работать как с колесным, так и с колесно-гусеничным типом движителя. Это позволяет практически исключить из парка лесозаготовительных машин гусеничную технику.

Дальнейшее совершенствование конструкций движителей лесных машин предусматривает соблюдение ряда требований:

- обеспечение проходимости машин (контурной и опорной);
- экологичность;
- достаточно высокие скорости передвижения машин, от которых зависит их производительность;
- маневренность и способность преодолевать препятствия;
- эргономика и удобство работы оператора;
- высокая устойчивость;
- масса машин.

В ближайшее время перспективными направлениями для создания и совершенствования новых конструкций движителей лесных машин являются:

- дальнейшее развитие конструкций комбинированных (колесно-гусеничных) движителей, и, в частности, осуществление рационального подбора параметров съемных гусениц и совместимости их с шинами;
- использование треугольных гусеничных систем;
- разработка конструкций движителей, которые позволят в процессе движения изменять величину клиренса и колеи.

## **ПРИНЦИПЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ТЕПЛИЧНОГО КОМБИНАТА**

Мировое тепличное овощеводство развивается как эффективное и наукоемкое агропромышленное производство. Тенденция развития тепличного овощеводства обусловлено переходом на инновационные технологии цифровизации и интеллектуализации управления интенсивным биопродукционным процессом внесезонного производства тепличных овощей.

Внесезонное овощеводство Республики Беларусь обеспечивает 21 тепличный комбинат с общей площадью более 240 га, современных блочных теплиц. Средняя урожайность овощей достигла 50 и более кг с квадратного метра полезной площади. Технология выращивания овощей осуществляется в малообъемной культуре на искусственных субстратах с капельным поливом ризосферы растений или бессубстратным гидропонным методом. Все технологические процессы автоматизированы и соответствуют мировому уровню. Вместе с этим современные тенденции цифровизации производства требуют перехода на новые интеллектуальные технологии управления производством.

Тепличное овощеводство носит биотехнический характер. Сам объект труда–ценоз растений является сложной биологической системой. В данном исследовании развивается концепция взаимосвязанных комплексных исследований, которая включает натурные (в лаборатории, теплице), физическое и математическое моделирование процессов переноса вещества и энергии в сложной регулируемой агроэкосистеме «ризосфера–растение–окружающая среда». Отнесение этих систем к сложным предполагает наличие особых свойств: уникальности, предсказуемости и целенаправленности (гомеостаза). Это позволяет отнести их к системам с соответствующим генетическим кодом, целенаправленным на самосохранение (адаптацию) растений к воздействию окружающей среды [1,2].

Современные комплексные исследования адаптивных биотехнических систем требуют новых количественно-качественных подходов к систематизации и интеграции накопленных знаний, применение современных математических и кибернетических методов, позволяющих оперировать большим количеством разноплановой информации, описывающих поведение таких систем.

Тогда обоснованным представляется подход к разработке интеллектуальной информационной модели биопродукционного процесса на основе достаточно развитого аналитического аппарата структурно-функционального моделирования. Характерной чертой такой модели являются соединение процессов фотосинтеза, дыхания и передвижением влаги в открытой системе «ризосфера–растение–воздух» в котором устьичное сопротивление листьев управляется фотосинтетической активной радиацией (ФАР) и водным потенциалом листа [2]. Математическое моделирование продуктивности фотосинтеза и транспирации растений в различных условиях воздействия внешней среды: интенсивность ФАР, температурно-влажностный режим и состав воздуха теплицы, химический состав питательного раствора и режим полива –ключ к пониманию ответных реакций растений на изменяющиеся условия внешней среды, обеспечивающих распознавание образов и оптимизацию биопродукционного процесса по принципу «говорящего» растения.

Имитационное многофакторное моделирование положено в основу структурно-параметрического и алгоритмического синтеза системы интеллектуального оптимального управления биопродукционным процессом. Такой класс управления относится к новому научно-техническому направлению построения и использование интеллектуальных систем технического назначения, которые способны решать функциональные задачи, традиционно считающихся творческими.

Теоретическую основу построения таких моделей составляют методы системотехники и системного анализа, математические методы и алгоритмы решения задач управления, численные методы оптимизации и программирования. Характерным принципом исследования и анализа управляемых биотехнических систем является метод системного анализа поддержки принятия решений [3].

Рассмотрим такой подход на примере светокультуры овощеводства [2]. Светокультура является переменной 1–го порядка значимости [5]. Интеллектуальное управление светокультурой является многофакторным и имеет характерные признаки: многоуровневая иерархическая структура управления и функциональная модель подсистем и нестационарного биофункционального процесса в различных фазах роста растения и в зависимости от внешних факторов (температурно-влажностного режима, спектрального состава и интенсивности ФАР). Отдельные параметры подсистем имеют стохастический характер. Эта система управления должна обладать свойствами адаптации, оптимизации и толерантности (отказоустойчивости). Она относится к логичной мультиагентной интеллектуальной системе биотехнического

назначения. Проблемы повышения эффективности тепличного овощеводства взаимосвязаны. Они включают показатели биотехнического производства овощей, куда входят показатели энерго- и ресурсоэффективности различных сортов и гибридов.

Интеллектуальные системы управления биологических систем возможно осуществить, используя достаточно надежные общие научные основы, интеллектуально объединяющие общие отрасли агротехнических знаний: законы выживания и экстремального функционирования биологических объектов [3].

Современная задача синтеза структурных схем управления сложными системами базируется на применении новых информационных технологий роботного и адаптивного управления.

Известна наиболее общая модель Анохина–Пупкова интеллектуальной робототехнической системы управления технического назначения, которая требует большое количество информационных каналов объектов робототехники в соответствии с принципом Энби. Вместе с этим используя взаимозависимости между информационными каналами управления биологическим объектом, обладающим адаптивными приспособительными свойствами.

Оптимизация алгоритмов программной части контекстно-зависимой системы интеллектуального управления объекта управления по использованию максимальной части интеллектуальных ресурсов является основной задачей при проектировании и реализации вычислительной среды. В качестве базисной технологии обработки информации следует использовать соответствующий язык параллельных информационных технологии в соответствии со стандартной частью программирования и в первую очередь обеспечить принцип защиты биотехнической системы от неразрушения функциональных задач технологии выращивания растений овощных культур в экстремальных условиях эксплуатации.

Интеллектуальный анализ позволяет обеспечить управление мгновенной урожайностью культуры в режиме реального времени, то есть здесь заложен принцип включения и обработки текущих данных ценоза растений в систему автоматического управления биопродукционным процессом.

Для целей интеллектуального управления биотехнической системой разработан глоссарий 30 переменных параметров состояния на примере культуры томата, определяющих отклик растений биопродукционного процесса на основе обобщения опубликованных данных и наших исследований [2].

Лабораторные натурные исследования и производственные испытания светодиодной установки для облучения растений томата в течении

нескольких вегетативных сезонов по доминантному каналу контроля и управления влажностью ризосферы показали повышение энергоэффективности, разработанной биотехнической системы интеллектуального управления тепличного производства овощей более чем в 2 раза.

Изложенные принципы интеллектуального управления биотехнологической системой тепличного комбината основан на включении ценоза растений, как адаптивного биообъекта труда в автоматизированную систему выращивания овощей, управляемой по ответной реакции «говорящего растения» в режиме “on-line” обеспечивает повышение эффективности тепличного производства.

### **Список использованных источников**

1. Гусаков В.Г., Герасимович Л.С. Энергоэффективность аграрного производства / В.Г. Гусаков [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Отд. агр. наук, Ин-т экономики, Ин-т энергетики;. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 776 с.

2. Научные основы питания томатов на минеральных субстратах: монография, / Л.А. Веремейчик, Л.С. Герасимович, под ред. Академика Л.С. Герасимовича. Мн: Акад. Упр. При Президенте Респ. Беларусь, 2005. 234 с.

3. Андрейчиков А.В. Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике. Математические, эвристические и интеллектуальные методы системного анализа и синтеза инноваций. Учебное пособие. –М Книжный дом «Либроком», 2012. 304 с.

4. Свентицкий И.И. Энергосбережение и энергетическая экстремальность самоорганизации /И.И. Свентицкий/ –М.:ВИЭСХ-468с.

5. Герасимович Л.С., Михайлов В.В., Павловский В.А., Способ управления светокulturой при выращивании овощных культур в теплице // изобретение № а20150665 подано 29.12.2015. Опубликовано: 30.08.2017 № 22299.

УДК 621.793

**И.И. Жукова, С.Е. Моложавцев, И.А. Левицкий**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ РОЛИКОВ КОНВЕЙЕРНЫХ ПЕЧЕЙ**

Ангобные покрытия, выполняющие защитную функцию для керамических роликов конвейерных печей обжига с целью защиты их от засорений начали применяться относительно недавно [1].

Покрyтия наносятся на рельефную (тыльную) сторону керамических плиток различного ассортимента: плиток для полов, керамогранита, плиток для внутренней облицовки стен, клинкерной плитки, тем самым защищают керамические ролики от различного вида засорений, продлевая тем самым срок их эксплуатации.

В печи существуют три зоны, где проявляется типичное засорение роликов: предварительный нагрев – температура от 800 °С до 950 °С; начало зоны обжига – температура от 1050 °С до 1150 °С; обжиг при максимальной температуре – 1190 °С до 1200 °С.

В зоне предварительного нагрева засорение роликов происходит из-за конденсации образовавшихся газов и паров в зонах начала обжига и термообработки при максимальной температуре, где температура самая высокая как черепка, так глазури и наносимого декора.

Загрязнение роликов в начале зоны обжига вызвано пылью, которая отделяется от керамического черепка и от заусенцев прессования, оставшихся на внутреннем крае не до конца очищенных плиток.

При максимальной температуре обжига осажденный на роликах слой плотный, образован обычно из смеси компонентов керамической массы и составляющих применяемого ангоба.

Разрабатываемые ангобные покрытия предназначены для нанесения на керамогранит, обжигаемый при температуре 1200±5 °С.

Синтез ангобных покрытий проводился в системе следующих сырьевых компонентов: глина огнеупорная марки «Веско-Гранитик» (Украина), бой отработанных гипсовых форм, используемых при стендовом литье санитарных керамических изделий; глинозем технический марки NO-105 (Германия). Шаг варьирования – 2 мас. %. В таблице 1 приведен усредненный химический состав применяемых компонентов.

**Таблица 1 – Усредненный химический состав сырьевых компонентов, используемых для приготовления ангобных покрытий**

Наименование компонентов	Оксиды и их содержание, мас. %								
	SiO <sub>2</sub>	CaO	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	TiO <sub>2</sub>	другие оксиды	п.п.п.
Глина «Гранитик-Веско»	60,00	0,29	26,40	1,00	0,41	2,11	1,32	MgO – 0,29	7,93
Бой гипсовых форм	0,80	37,37	0,25	0,17	–	0,07	–	SrO – 0,17 SO <sub>3</sub> – 44,82	16,35
Глинозем NO-105	0,20	0,02	99,54	0,04	0,11	–	1,32	CuO – 0,01	–

Исследованная система ангобных покрытий включала следующие пределы содержания составляющих, мас. %: глина «Гранитик-Веско» – 16–28; бой гипсовых форм – 64–76; глинозем – 8–12.

Для улучшения требуемых реологических характеристик ангобных суспензий и улучшения адгезии их к керамическому черепку применялись триполифосфат натрия и карбоксиметилцеллюлоза, вводимые в количестве по 0,5 мас. % сверх 100% составляющих.

Сырьевые материалы, используемые для приготовления ангобных суспензий, подвергались измельчению до величины зерен не более 1 мм и просеивались сквозь сито № 01 (3906 отв./см<sup>2</sup>).

Ангобную суспензию готовили совместным помолом всех компонентов по мокрому способу в микрошаровой мельнице фирмы Speedy (Италия). Влажность суспензии – 40–45 %. Соотношение материал: мелющие тела : вода составляло 1,5:1:0,5. Помол осуществлялся в течение 50 мин до остатка на сите № 0063 (10000 отв./см<sup>2</sup>) не более 1,0–1,2 %.

Керамогранит размером (400×400×8) мм после сушки покрывали полученной ангобной суспензией с помощью фильеры №06, предварительно увлажнив его тыльную поверхность. Рабочая плотность суспензии составляла 1240–1300 кг/м<sup>3</sup>. После нанесения ангоба плитку подсушивали в сушильном шкафу при температуре 105±2 °С в течение 20 мин до остаточной влажности не более 2%. Обжиг плиток производился в конвейерной газопламенной печи FMS–2950 фирмы «SACMI» на ОАО «Керамин» при температуре 1200 °С в течение 47 мин, с выдержкой при максимальной температуре 15 мин.

Исследование свойств покрытий производилось по ГОСТ 27180 «Плитки керамические. Методы испытаний». Определение твердости лицевой поверхности проводили с помощью шкалы твердости Мооса. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных ангобных покрытий измерялся на горизонтальном dilatометре системы ДКВ–2 в интервале температур 50–300 °С. Огнеупорность определяли по ГОСТ 4069 в электрической печи фирмы SNOOL – 1.6.2.5.1/13.5–II (Литва), в качестве образцов сравнения выступали пироскопы.

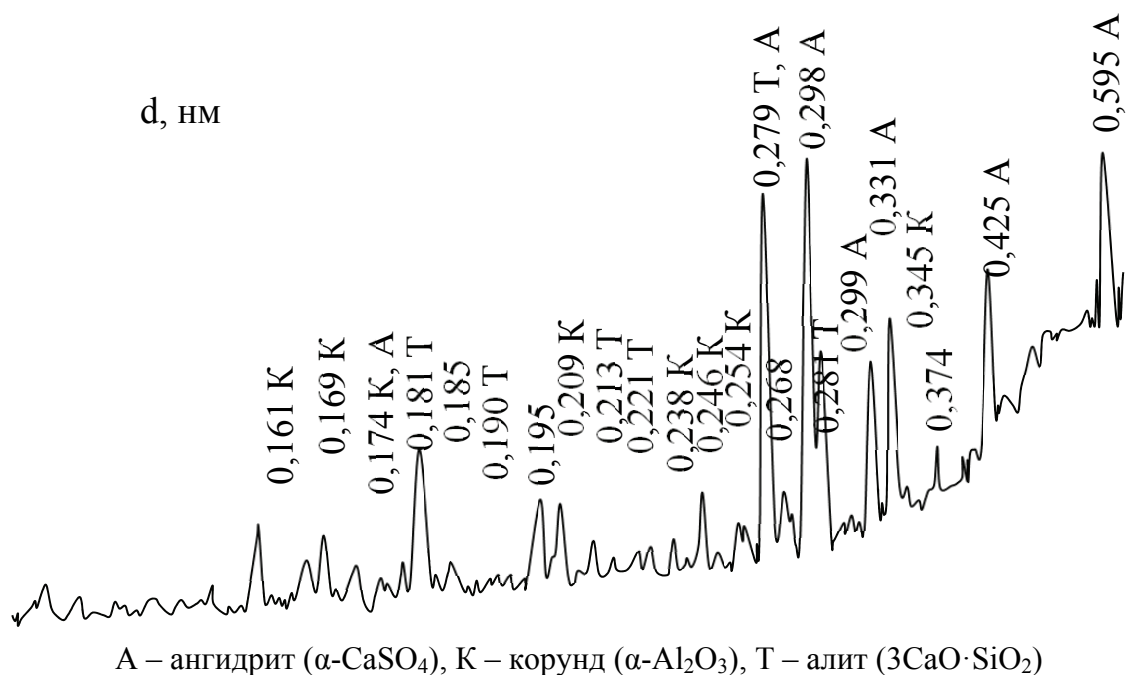
Физико-химические свойства покрытий приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Физико-химические свойства ангобных покрытий**

Наименование свойств	Значение показателей
Характеристика ангобного покрытия	Матовое, с гладкой поверхностью
Цвет обожженного покрытия	Белый, кремово-белый
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$	5,02–7,02
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	2216–2493
Открытая пористость, %	10,2–22,2
Водопоглощение, %	4,8–10,9
Огнеупорность, °С	1350



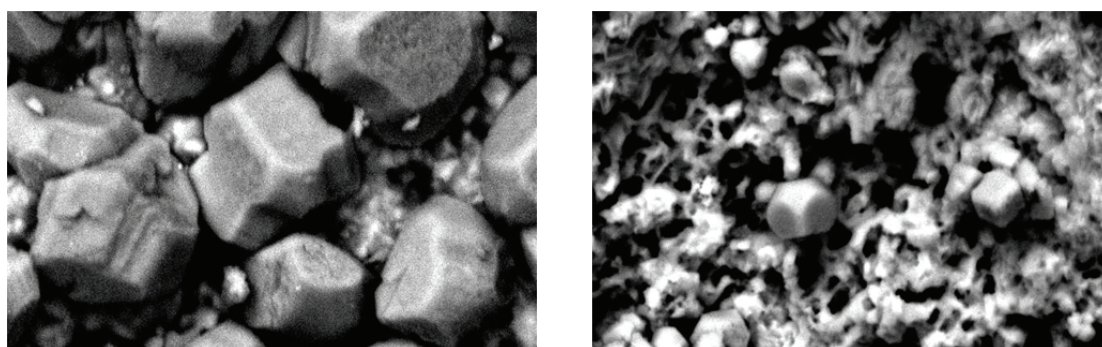
Рентгенофазовый анализ проводили на установке D8 ADVANCE Bruker (Германия) для установления фазового состава ангоба. Дифрактограмма оптимального состава ангоба приведена на рисунке 1.



**Рис. 1 – Дифрактограмма оптимального состава ангоба**

Установлено, что основными кристаллическими фазами оптимального состава являются ангидрит, корунд и алит, обеспечивающие требуемые физико-химические свойства покрытий, их хорошее сцепление с керамической основой плиток, отсутствие пыления и осыпания, защиту керамических роликов.

Микроструктура образцов исследовалась на сколе покрытия с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-5610 LV (Япония) и представлена на рисунке 2.



— 10 мкм

**Рис. 2 – Электронно-микроскопические снимки ангобного покрытия**

Электронно-микроскопические снимки оптимального состава ангоба подтверждают формирование кристаллической структуры, которая представлена объемными кристаллическими образованиями с четкой огранкой, близкими к классическому габитусу ангидрита [2]. Преобладают кристаллы размером 15–20 мкм. Пространство между ними заполнено изоморфными мелкими образованиями размером 0,1–0,3 мкм.

Проведенные испытания в заводских условиях ОАО «Керамин» показали возможность использования синтезированных покрытий в условиях промышленного производства.

### **Список использованных источников**

1. Ангоб: примеры декларирования, Российская Федерация // [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.ifcg.ru>. – Дата доступа: 01.05.2019.

2. Информационный некоммерческий ресурс, РФ // [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://okvsk.ru>. – Дата доступа: 09.12.2019.

УДК 621.22:004.9

**В.И. Посметьев, В.О. Никонов**

Воронежский государственный  
лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

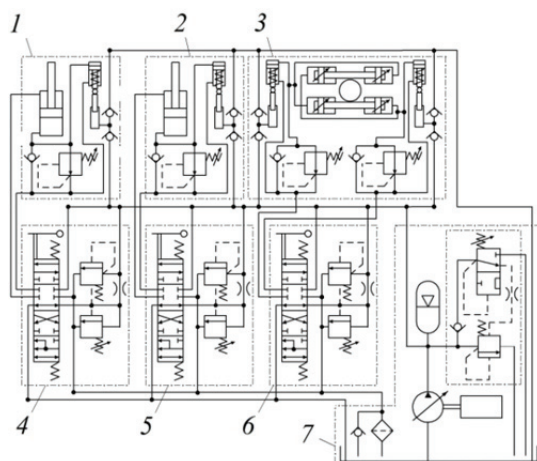
## **РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕКУПЕРАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МАНИПУЛЯТОРЕ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА**

Выполнение лесовозными автопоездами, оборудованными гидравлическими манипуляторами энергоемких технологических операций в тяжелых условиях эксплуатации лесозаготовок, приводит к значительному ухудшению их работы, и к неэффективному использованию затрачиваемой энергии, из 100 % которых примерно 20 % составляют энергетические потери. В тяжелых условиях эксплуатации лесовозных автопоездов перспективным способом накопления и повторного использования этих энергетических потерь является использование устройств рекуперации энергии.

При погрузке и разгрузке сортиментов гидравлическим манипулятором в процессе поворота колонны, опускания стрелы и рукояти с грузом в

их гидравлических цилиндрах создается запертый поток рабочей жидкости, увеличивающий давление и создающий дополнительное сопротивление в гидравлическом приводе манипулятора. Это приводит к тому, что часть кинетической энергии вращения колонны гидроманипулятора и потенциальная энергия его стрелы и рукояти с грузом безвозвратно трансформируется в тепло и рассеивается. Для сокращения этих потерь, авторами, на основе анализа известных технических решений в этой области и опубликованных научных работ, разработана схема рекуперативного гидропривода лесовозного автопоезда, представленная на рисунке 1 [1–2].

Для исследования влияния параметров рекуперативной гидравлической подсистемы манипулятора на количество накапливаемой гидравлической энергии в процессе погрузки-разгрузки сортиментов разработана в среде программирования Borland Delphi 7.0 на языке Object Pascal программа для ЭВМ, функциональными возможностями которой являются: выбор параметров гидравлического манипулятора, рекуперативной гидравлической подсистемы манипулятора, технологического процесса; проведение компьютерного эксперимента по одновременному подъему (опусканию) стрелы и повороту в горизонтальной плоскости колонны гидравлического манипулятора на заданный угол и возвращению в исходное положение, с возможностью подключения гидравлических цилиндров механизма поворота стрелы к пневмогидравлическому аккумулятору при торможении движения; вывод графиков давлений  $P_B(t)$ ,  $P_D(t)$  и  $P_P(t)$ , отклонения груза от равновесного положения в тангенциальном и радиальном направлениях, основных показателей рекуперативного гидропривода [3].



- 1 – рекуперативный механизм стрелы; 2 – рекуперативный механизм рукояти;  
 3 – рекуперативный механизм опорно-поворотного устройства;  
 4–6 – стандартные гидрораспределители; 7 – насосно-аккумуляторный узел

**Рисунок 1 – Схема рекуперативного гидропривода манипулятора лесовозного автопоезда**

Установлена зависимость влияния объема пневмогидравлического аккумулятора  $V_{ПГА}$  на количество рекуперированной энергии  $E_{цп}$  за один цикл погрузки (рис. 2, а). Она показывает, что количество накапливаемой энергии рабочей жидкости  $E_{цп}$  за один цикл погрузки при объеме пневмогидравлического аккумулятора 10 ... 20 л не изменяется. Наиболее целесообразно при большом количестве циклов погрузки (от 2 до 20) для накопления и повторного использования энергии рабочей жидкости применять пневмогидравлические аккумуляторы объемом более 10 л. Использование пневмогидравлических аккумуляторов объемом менее 10 л в одном цикле погрузки приводит к существенному снижению количества накапливаемой энергии рабочей жидкости  $E_{цп}$ .

Выявлена зависимость времени одного цикла погрузки  $t_{цп}$  сортамента на количество рекуперированной энергии  $E_{цп}$  за один цикл погрузки (рис. 2, б). Она показывает, что с уменьшением длительности цикла погрузки  $t_{цп}$  происходит увеличение количества рекуперированной энергии  $E_{цп}$ . Это связано с тем, что из-за увеличения скорости опускания стрелы и рукояти с грузом увеличивается их потенциальная энергия, а при увеличении скорости поворота колонны возрастает кинетическая энергия, которые приводят к повышению количества накапливаемой в пневмогидравлическом аккумуляторе энергии рабочей жидкости.

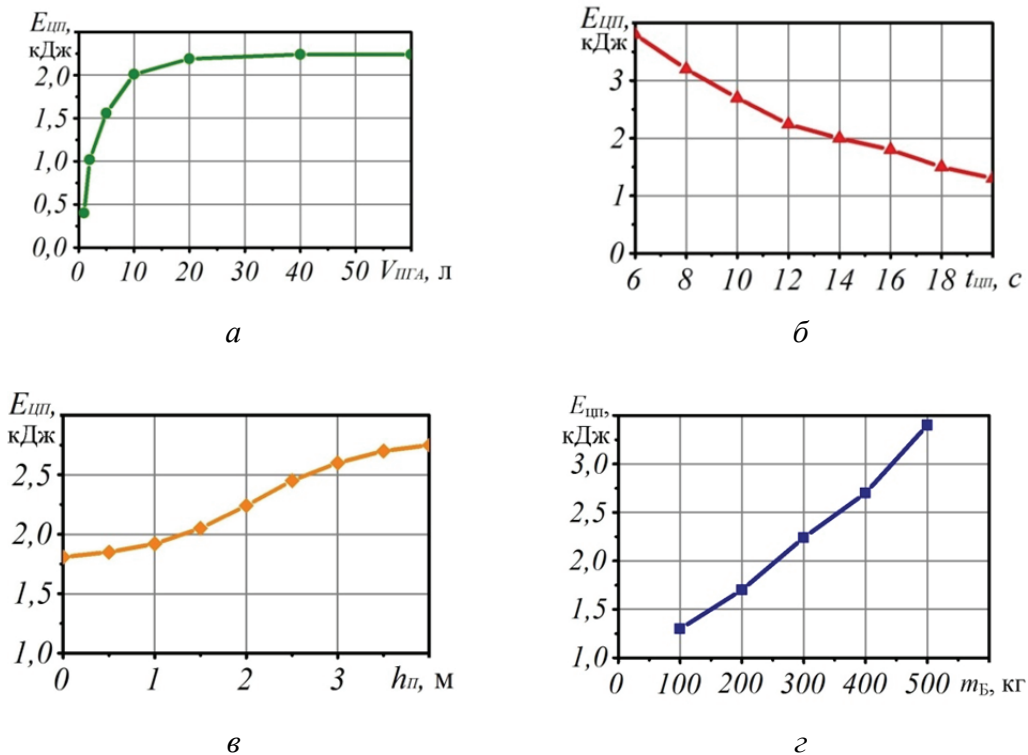


Рисунок 2 – Зависимости, полученные на основе разработанной компьютерной программы

Получена сигмоидальная зависимость влияния высоты подъема  $h_{\text{п}}$  сортимента на количество рекуперированной энергии  $E_{\text{цп}}$  за один цикл погрузки (рис. 2, в). При малой высоте подъема  $h_{\text{п}}$  сортимента манипулятор совершает движение преимущественно в горизонтальной плоскости, поэтому накопление гидравлической энергии рабочей жидкости в пневмогидравлическом аккумуляторе осуществляется за счет сглаживания переходных процессов при повороте колонны манипулятора в результате ее разгона и торможения. В этом случае количество рекуперированной энергии  $E_{\text{цп}}$  составляет 1,8 кДж. При увеличении высоты подъема  $h_{\text{п}}$  сортимента происходит возрастание количества рекуперированной энергии  $E_{\text{цп}}$  от 2,2 до 2,7 кДж. Это связано с тем, что к кинетической энергии поворота колонны манипулятора добавляется и потенциальная энергия опускания стрелы и рукояти с грузом.

Выявлена зависимость влияния массы сортимента  $m_{\text{б}}$  на количество рекуперированной гидравлической энергии  $E_{\text{цп}}$  в пневмогидравлическом аккумуляторе за один цикл погрузки, позволяющая осуществлять оптимальное использование рекуперативного гидропривода (рис. 2, г). С увеличением массы сортимента  $m_{\text{б}}$ , запасаемая за один цикл погрузки гидравлическая энергия  $E_{\text{цп}}$ , увеличивается практически линейно. Из-за такой сильной зависимости возникает задача подбора оптимального рекуперативного гидропривода. Так, если погружаемые сортименты существенно различаются по диаметру и длине, нецелесообразно использовать накопление и возврат рекуперированной энергии в одном и том же цикле и необходимо использование пневмогидравлического аккумулятора большей емкости, чтобы накопить энергию за несколько (2 ... 20) циклов с последующим ее использованием. Если же погружаемые сортименты близки по геометрическим параметрам, целесообразно организовать накопление и использование энергии в пределах одного цикла погрузки, что дает возможность использовать пневмогидравлические аккумуляторы малого объема.

Таким образом, полученные на основе компьютерной программы зависимости позволяют сделать вывод, что максимальное количество рекуперированной энергии  $E_{\text{цп}}$  будет накапливаться в пневмогидравлическом аккумуляторе при его объеме  $V_{\text{ПГА}}$  более 10 л, при уменьшении длительности цикла погрузки  $t_{\text{цп}}$  и увеличении высоты подъема  $h_{\text{п}}$  сортимента в процессе погрузки и разгрузки лесовозного автопоезда, а также при погрузке-разгрузке сортиментов с наибольшей разрешенной массой.

### **Список использованных источников**

1. Посметьев, В. И. Повышение эффективности лесовозного автомобиля с помощью рекуперативного гидропривода [Электронный

ресурс] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131(07).

2. Патент на изобретение № 2668093 РФ, МПК А01G 23/00, В66F 9/22. Рекуперативный гидропривод лесовозного автомобиля [Текст] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, М. А. Латышева ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г. Ф. Морозова. – № 2017136631 ; заявл. 17.10.2017 ; опубл. 26.09.2018.

3. Никонов, В. О. Анализ конструктивных особенностей гидрофицированных технологических машин с рекуперацией потенциальной энергии рабочего органа с грузом [Текст] / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, Е. В. Козлов, В. О. Бородкин // Воронежский научно-технический вестник. – 2019. – Т. 1, № 1 (27). – С. 4–19. Режим доступа : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2019/1-27-2019/4-19.pdf> – Загл. с экрана.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для моделирования системы рекуперации гидравлического манипулятора в процессе погрузки-разгрузки сортиментов [Текст] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев,; правообладатель Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. – № 2019617931 ; заявл. 13.06.2019 ; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25.06.2019.

УДК 666.762:621.763

**Е.В. Овчинников, А.П. Возняковский,  
А.А. Возняковский, В.И. Кравченко**

Гродненский государственный университет им. Я.Купалы, ФГУП НИИСК

### **ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОДИСПЕРСНЫМИ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫМИ ЧАСТИЦАМИ**

Особое место в иерархии машиностроительных материалов занимают многофункциональные полимерные наноконпозиционные материалы, которые заменяют традиционные композиты при создании демпфирующих сопряжений, узлов трения, герметизирующих элементов, медицинских протезов и устройств [1, 2]. Необходимый уровень триботехнической организации, определяющий устойчивость наноконпозитивов к воздействию эксплуатационных факторов, достигается

путем применения модификаторов определенной молекулярной массы, состава, внешней формы, геометрических размеров частиц, методов подготовки наполнителя, режимов переработки нанокпозиционных материалов, методов активации трущихся поверхностей, позволяющих изменять топографию контактирующих материалов, влияние внешних факторов, оказывающих основополагающий вклад в трибохимические процессы формирования устойчивых разделительных слоев в зоне фрикционного контакта.

Целью данной работы является разработка нанкомпозиционных материалов путем применения функционализированных нанокуглеродных частиц для увеличения физико-механических характеристик формируемых систем.

В качестве образцов получали композиционные материалы на основе полимерной полиамидной матрицы ПА 6 210/310 (производство ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот», Беларусь), который наполнялся нанодисперсными функционализированными углеродными частицами (НФУЧ). Применялся ультрадисперсный алмаз с размером единичных кластеров 4-6 нм. Процентное содержание наномодификатора в полимерной матрице составляло от 0,17 до 1 масс.%. Исходный полиамид подвергался обработке при криогенных температурах. Предварительно нанодисперсные частицы обрабатывались в растворе фторсодержащего олигомера. Композиционные образцы формовались методом литья под давлением на вертикальной литьевой машине производства РУП СКТБ «Металлополимер» (Беларусь). Образцы имели стандартизированные размеры: длина – 10 см, ширина – 1 см, толщина – 0,5 см. Трибоиспытания образцов проводили на машине трения FT-2 по схеме сфера–плоскость. В качестве контртела применяли сталь ШХ15, нагрузка составляла 30 Н, скорость скольжения  $v = 0,06$  м/с.

Испытания по определению прочностных характеристик проводили на разрывной машине ИР 5047-50 универсального назначения с электронным силоизмерителем для испытания образцов на растяжение, сжатие и изгиб с пределом нагрузки в 50 кН. Для оценки физико-механических характеристик применяли прибор ИПМ-1К.

Согласно проведенных исследований [3], введение нанодисперсных частиц в полиамидную матрицу приводит к увеличению физико-механических характеристик. Для повышения износостойкости покрытия на основе ПА-6 его модифицировали «допинговыми» добавками наномодификаторов, выбранных из группы: УДАГ, шунгит, кремний, наночастицы металлов и оксидов металлов (ОМ), гранитная мука, при их содержании от 0,01 до 1,0 масс.%. Благодаря комплексному модифицирующему действию наночастиц повышает-

ся адгезия композиционного покрытия к углеродистым и легированным сталям (ст 45, ст 40Х) и показателя износостойкости. Вместе с тем, несмотря на адсорбционное взаимодействие частиц модификаторов с полярными группами полимерной матрицы (амидной группой  $-\text{NHCO}-$ ), обуславливающих высокие адгезионные характеристики полиамидных покрытий на металлах, сохраняются достаточно высокие значения коэффициента трения покрытий при контактном взаимодействии с металлическим контртелом без подвода внешней смазки ( $f = 0,19 - 0,22$ ), обусловленные увеличением его деформационной составляющей при повышенном адгезионном взаимодействии [3]. Проведенные исследования по изучению значений прочности, твердости полиамида 6, модифицированного нанодисперсными частицами показали увеличение значений данных параметров по сравнению к исходному полимеру.

При введении допинговых добавок низкоразмерных частиц, обладающих нескомпенсированным зарядом обеспечивается синергический эффект повышения прочностных, триботехнических и адгезионных характеристик. Эффект обусловлен формированием в периферии наночастицы квазикристаллического переходного слоя под действием электрического поля. Заряд наночастицы может быть сформирован в результате специального технологического воздействия (механического, трибохимического, температурного и т.п.) или обусловлен кристаллохимическим строением полуфабриката.

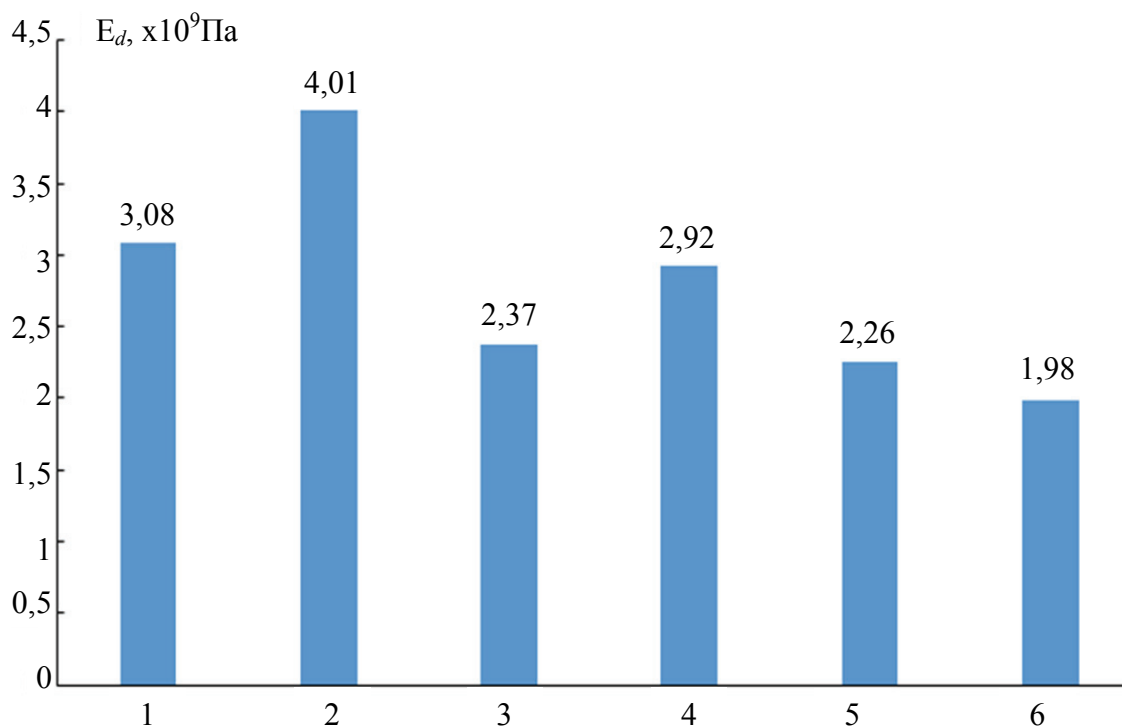
Данный эффект увеличения прочностных характеристик полиамидных композиций наблюдается при «допинговых» значениях концентраций наномодификатора в полимерной матрице. Увеличение концентрации (0,5–1 масс.%) нанодисперсных частиц в полиамиде приводит к снижению значений предела прочности при растяжении композиционных материалов (рис.1).

На рисунке 2–3 приведены значения динамического модуля упругости полиамида и его композиций, возрастает при криогенной обработке. Введение нанодисперсных модификаторов приводит к снижению значений динамического модуля упругости.

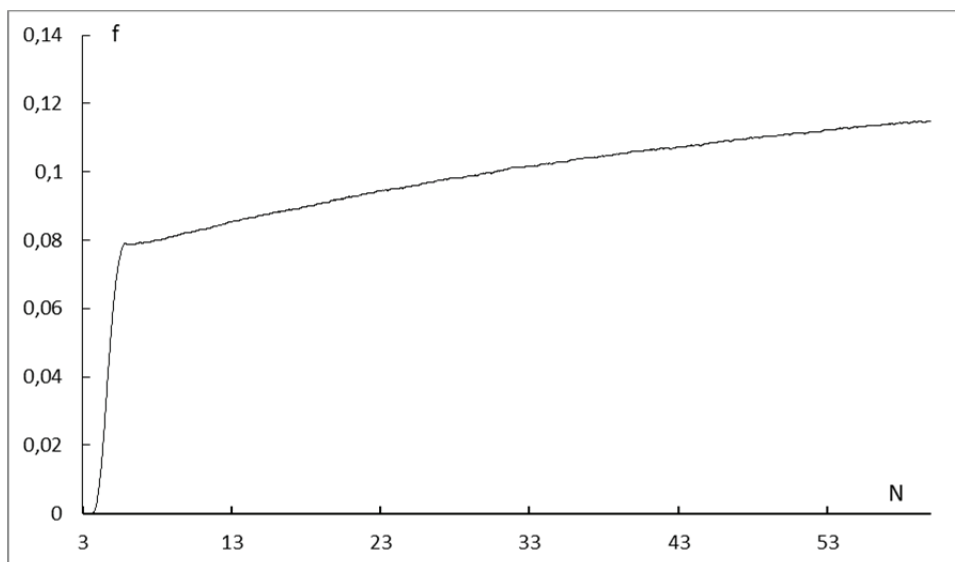
Проведенные исследования по изучению твердости разработанных композиций на основе полиамидов 6 показали хорошее согласование с результатами испытаний по определению значений прочности при растяжении для полимерных композиций. Для композиций полиамида, модифицированных нанодисперсными частицами в области малых концентраций модификатора, значения твердости увеличиваются на 22–27%. Дальнейшее увеличение содержания модификатора в композиции приводит к снижению значений прочно-



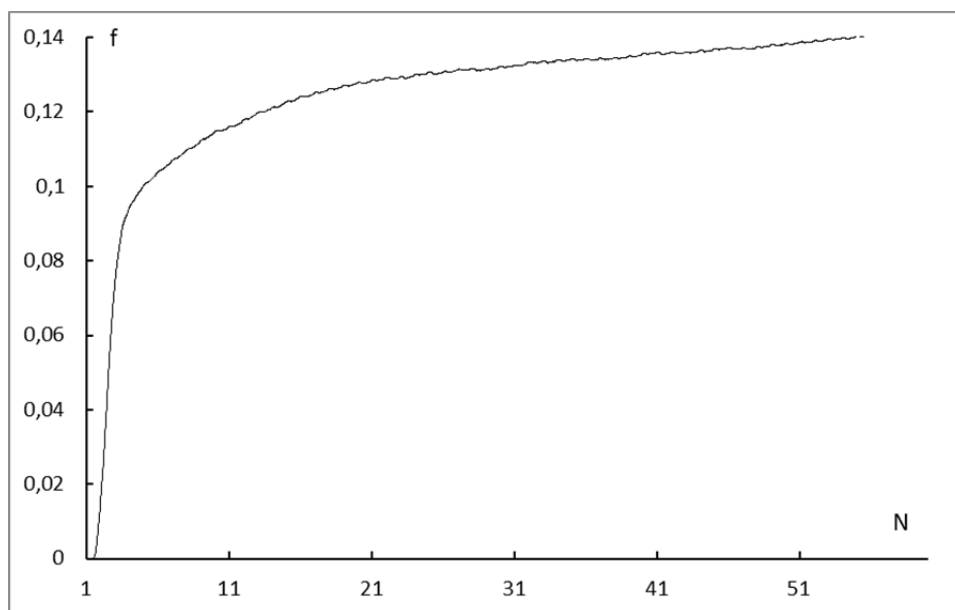
сти. Триботехнические испытания композиционных материалов, содержащих нанодисперсные частицы показали уменьшение значений коэффициента трения в паре трения со стальным контртелом при малых концентрациях модификатора. С увеличением концентрации нанодисперсных функционализированных углеродных частиц значения коэффициента трения возрастают пары нанокompозит-сталь возрастают. Проведенные исследования по изучению триботехнических характеристик разработанных полимерных композиций показали уменьшение значений коэффициента трения в 2 раза по отношению к исходному при содержании модификатора до 0.1 масс.%. Возрастание концентрации функционализированных нанодисперсных частиц в полимерной матрице до 1 масс.% приводит к увеличению значений коэффициента трения до 0,14.



**Рис. 1 – Значения динамического модуля упругости для полиамидных композиций: 1 – полиамид 6 (исходный); 2 – полиамид 6, подвергнутый криогенной обработке; 3 – полиамид 6, модифицированный нанодисперсными частицами углерода концентрацией 0,17 масс. %; 4 – полиамид 6, модифицированный нанодисперсными частицами углерода концентрацией 0,25 мас.%; 5 – полиамид 6, модифицированный нанодисперсными частицами углерода концентрацией 0,5 мас.%; 6 – полиамид 6, модифицированный нанодисперсными частицами углерода концентрацией 1 мас.%.**



**Рис. 2 – Зависимость коэффициента пары трения нанокomпозиционный материал-сталь от количества циклов. Содержание модификатора в композите 0,17масс.%**



**Рис. 3 – Зависимость коэффициента пары трения нанокomпозиционный материал-сталь от количества циклов. Содержание модификатора в композите 1 масс.%**

Таким образом, введение нанодисперсных функционализированных частиц углерода приводит к увеличению физико-механических характеристик полиамидных композиций при «допинговых» концентрациях модификатора. Увеличение концентрации (0,5–1 масс.%) нанодисперсных частиц в полиамиде приводит к снижению значений предела прочности при растяжении композиционных материалов.

## Список использованных источников

1. Витязь, П.А. Нанокристаллические алмазы и перспективы их использования. / П.А. Витязь // Наноструктурные материалы: получение и свойства. – Минск: НАНБ, 2000. – С. 8-20.
2. Трение и износ материалов на основе полимеров. / В.А. Белый [и др.] – Минск: Наука и техника, 1976. – 250 с.
3. Металлополимерные нанокомпозиты: особенности структуры, технология, применение / А.А. Рыскулов, С.В. Авдейчик, М.В. Ищенко, Е.В. Овчинников. Под научн. ред. В.А. Струка, В.А. Лиопо. – Гродно: ГГАУ, 2010. – 335 с.

УДК 621.893

**Е.В. Овчинников, Н.М. Чекан, А.И. Акула,  
Е.И. Эйсымонт, В.И. Кравченко**

Гродненский государственный университет им. Я.Купалы  
Физико-технический институт НАН Беларуси

## **АНТИФРИКЦИОННЫЕ ВАКУУМНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПО ГИБРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Традиционными методами формирования тонкослойных покрытий являются плазмохимическое, физическое и химическое осаждение [1–2]. Получение устойчивых защитных слоев, обладающих высокой адгезией к субстрату позволяет создавать пленки толщиной порядка от 0,1 мкм до 8–10 мкм. Данные слои характеризуются высокими функциональными характеристиками: коррозионной стойкостью по отношению к действию агрессивных сред, низким коэффициентов трения и высокой износостойкостью. Применение данных покрытий позволяет увеличить производительность металлообработки режущим инструментом на 30–220 %, повысить эксплуатационный ресурс инструмента и технологической оснастки от 1,7 до 5 раз в зависимости от вида технологии обработки и типа материала. Эффективно применение тонкослойных вакуумных покрытий для модифицирования изделий, изготавливаемых из твердосплавных материалов в частности методами порошковой металлургии, что позволяет снизить расход дорогостоящего инструмента за счет уменьшения количества переточек.

Применением различного вида энергетического воздействия для модифицирования вакуумных покрытий, получаемых методами PVD, PCVD, CVD возможно достичь синергетического эффекта увеличения

эксплуатационных характеристик. Данный эффект достигается путем применения гамма-излучения, термообработки, низкотемпературной и высокотемпературной плазмы, лазерного излучения.

Целью данной работы является изучение влияния низкотемпературной обработки на триботехнические характеристики вакуумных покрытий, формируемых методом плазмохимического осаждения.

В качестве объекта исследований использовали покрытия ZrCN. Данные соединения формировали на пластины из стали 40 X, 12X18H10T, HSS. Нанесение покрытий осуществлялось в вакуумной установке УВНИПА-1-001, оборудованной катодно-дуговым испарителем с системой электромагнитной фильтрации плазмы, а также ионным источником ИИ-4-0,15. Обработку покрытий в криогенной жидкости проводили в интервале от 30 до 1440 минут.

Особенности строения граничных слоев в композиционных материалах функционального назначения исследовали с привлечением современных методов: оптической, растровой электронной, атомно-силовой микроскопии, рентгеноструктурного анализа (ДРОН-2.0) по стандартным методикам. Режимы формирования вакуумных покрытий приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Технологические параметры получения покрытий ZrCN**

Напряжение смещения, В	Давление азота и ацетилена в вакуумной камере, Па	
	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$
-50	покрытие № 1	покрытие № 2
-100	покрытие № 3	–

Триботехнические исследования проводили на машине трения типа FT-2, которая работает по схеме возвратно-поступательного движения длина хода индентора от 5–50 мм в условиях сухого трения (контртела), выполненного из стали и отшлифованного на ровной плоской поверхности наждачной шкуркой или шлифовальной пастой до среднего арифметического отклонения профиля поверхности  $R_a=0,1 - 0,3$  мкм.

Образцы закрепляли в зажиме машины трения, протирали тканью «бязь», отбеленной, смоченной в этиловом спирте, рабочую сферу и рабочую поверхность стального диска (контртела), после чего сушили две минуты при комнатной температуре. Испытания проводили при нормальной нагрузке на образец до 20 Н, линейной скорости скольжения 0,036 м/с, температуре поверхности образца  $(20 \pm 5)$  °С.

Обработка в жидком азоте сформированного на металлическом субстрате покрытия ZrCN приводит к увеличению значений твердости

на 9 % – 30 % по сравнению с контрольным образцом. Данный эффект зависит как от времени выдержки в криогенной жидкости, так и от технологии формирования покрытий. Возможно, это обусловлено уменьшением размеров фаз, составляющих структуру данного покрытия, за счет термического удара которое испытывает покрытие при обработке в жидком азоте.

Применение нанокпозиционных тонкослойных покрытий на основе титана, циркония, хрома, а также их комбинаций обладают повышенными физико-механическими характеристиками по сравнению с другими поверхностными слоями металлов и их комбинаций, формируемых плазмохимическими способами. Установленным считается факт, что покрытия карбонитрида циркония обладают более высокой стойкостью к воздействию повышенных температур в сравнении с покрытиями нитрида, карбонитрида, карбида титана.

Установлено, что триботехнические характеристики композиционных покрытий на основе карбонитрида циркония существенно изменяются при проведении криогенной обработке. Показано, что при выдержке исследуемых покрытий ZrCN в жидком азоте наблюдается увеличение значений линейного износа у покрытий, полученных по процессам № 2 и № 3 (далее образец № 2, образец № 3), в сравнении с контрольным образцом. Обработка покрытия карбонитрида циркония, полученного согласно процесса № 1 (далее образец № 1), наблюдается увеличение коэффициента трения до значений ~0,52 и снижение значений линейного износа до 0,08 мкм по отношению к исходному образцу. Увеличение времени выдержки исследуемых покрытий в криогенной жидкости до 24 ч приводит к уменьшению значений коэффициента трения и линейного износа по отношению к контрольному образцу.

Морфологические исследования поверхности трения покрытий на базе ZrCN показывают меньшие размеры дорожек трения для модифицированных покрытий в криогенной среде по сравнению с контрольными образцами. Проведены натурные испытания сверл Ø3 мм из стали HSS с покрытием ZrCN, модифицированные при криогенной температуре. Установлено, что наибольшей износостойкостью обладают сверла с покрытием, выдержанные в жидком азоте в течение 24 ч.

Установлено, что осаждение покрытий ZrCN на поверхность стали 12X18H10T сглаживает исходный рельеф. В структуре покрытий карбонитрида циркония наблюдается наличие глобулярных образований, количество и размеры которых изменяются при криогенной обработке. Проведенные исследования показали повышенную стойкость покрытий ZrCN по отношению к действию серной кислоты, соляного тумана в сравнении с материалом субстрата.

## Список использованных источников

1. Investigation into the Structure of TiN Single Layer and TiN/ZrN Multilayer Coatings / P. L. Zhuravleva [et al.] // Nanotechnologies in Russia. – 2010. – Vol. 5, No. 9–10. – pp. 669–675.

2. Xiaohon, Yao TIAN Linhai Impact Fatigue Behavior of ZrN/ZrN/Zr Coatings on H13 Steel by CFUBMSIP / Yao Xiaohon, Huo Huidan, Bao Mingdong // Journal of Wuhan University of Technology – Mater. Sci. Ed. – 2014. – p. 137–142.

УДК 620.197.5

**В.В. Михайлов, Е.В. Овчинников, Т.И. Пинчук**

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Гродненский государственный университет им.Я.Купалы

Научно-исследовательский институт порошковой металлургии НАН Беларуси

## НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Одним из перспективных способов повышения эксплуатационных характеристик изделий применяемых в машиностроении, агропромышленном комплексе является электроискровое легирование (ЭИЛ). Суть метода заключается в процессе осаждения расплавленного материала на обрабатываемую поверхность искровым электрическим разрядом. В ряде случаев расплавление материала достигается путем возникновения плазмы в искровом разряде, что существенно изменяет свойства формируемых слоев. Процесс расплавления и осаждения лигатуры происходит в воздушной и инертной газовой среде [1–3].

Формирование покрытий методом электроискрового легирования осуществляются на установках типа UR-121, ИМ101, SE-5.01.

Получение покрытий с низкими внутренними напряжениями может достигаться путем предварительного прогрева детали пламенем газовой горелки.

Цель данного исследования состояла в изучении структуры, физико-механических характеристик покрытий, получаемых методом электроискрового легирования.

В качестве образцов получали композиционные покрытия на стальном (40Х13) и титановом (ВТ6) субстрате. Режимы формирования покрытий, составы электродов приведены в таблице 1.

Триботехнические исследования проводили на машине трения типа FT-2, которая работает по схеме «палец-диск» в условиях сухого трения трех сферических образцов диаметром  $D=1,5$  мм по плоской

поверхности диска (контртела), выполненного из стали и отшлифованного на ровной плоской поверхности наждачной шкуркой или шлифовальной пастой до среднего арифметического отклонения профиля поверхности  $R_a=0,1-0,3$  мкм. Испытания проводили при нормальной нагрузке от 50 Н и линейной скорости скольжения 0,06 м/с. Для измерения микротвердости покрытий, сформированных на металлах, использовали микротвердомер НВММТ-Х7. Принцип действия прибора основан на изменении линейной величины диагонали отпечатка  $s$ , полученного от вдавливания алмазной пирамиды в исследуемый материал под определенной нагрузкой. Морфологию покрытий исследовали на растровом электронном микроскопе «MIRA3 TESCAN». Топографию защитных слоев определяли на профилометре «Surftest SJ-210».

**Таблица 1 – Технологические параметры формирования покрытий ЭИЛ и состав электродов**

Режим формирования покрытия, Дж	ВТ6 (субстрат)		40Х13 (субстрат)	
	1	2	3	4
0,9	Ti+C	Ti+Al+N	Ti+Al+C	Ti+Si+C

Проведенные триботехнические исследования показали, что образцы с покрытием, полученным методом электроискрового легирования в ряде случаев (образцы 2,4 таблицы 2,3) обладают лучшими трибологическими характеристиками в сравнении с исходными материалами (сталь 4Х13, сплав ВТ6) (таблица 2-3).

**Таблица 2 – Коэффициент трения покрытий ЭИЛ**

Исследуемые образцы	1	2	3	4	4Х13	ВТ6
$\mu$	0,33	0,27	0,4	0,34	0,45	0,31

**Таблица 3 – Линейный износ покрытий ЭИЛ**

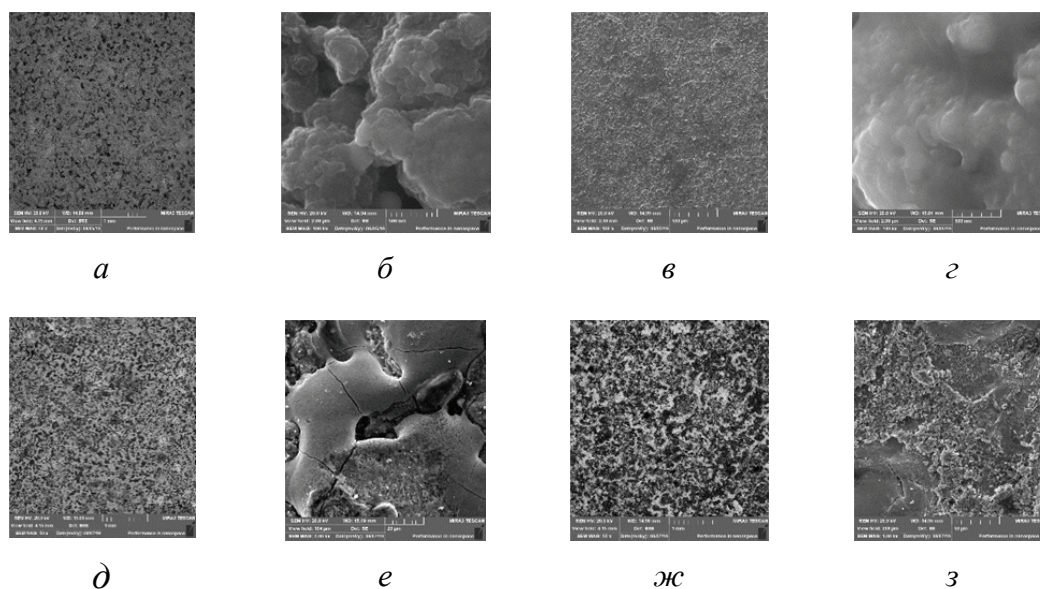
Исследуемые образцы	1	2	3	4	4Х13	ВТ6
$\Delta h$ , мкм	0,44	0,47	0,42	0,06	0,17	0,14

Высокий линейный износ характерный для образцов №1–3 в сравнении с контрольными образцами обусловлен большими параметрами шероховатости поверхностных слоев электроискровых покрытий. В связи с чем, в начале, происходит изнашивание макроступов покрытий, что и дает кажущееся увеличение линейного износа для ЭИЛ покрытий. Однако и при данных условиях испытания образец №4 имеет линейный износ в 2,2–2,5 раза меньший в сравнении с базовыми материалами. Изменение триботехнических характеристик

исходных субстратов при формировании защитных слоев, связано с увеличением значений твердости покрытий (таблица 4).

**Таблица 4 – Микротвердость исследуемых образцов**

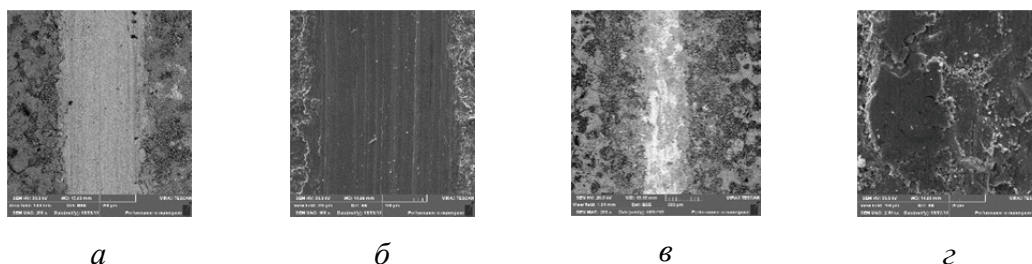
Исследуемые образцы	1	2	3	4	4X13	BT6
H, кг/мм <sup>2</sup>	10300	8873	9120	10450	5150	3940



**Рис.1 – Морфология покрытий формируемых методом электроискрового легирования:  
а, б – образец № 1; в, г – образец № 2; д, е – образец № 3; ж, з – образец № 4.  
Снимки получены методом РЭМ.**

Наибольшей микротвердостью обладает образец № 4, что и обуславливает высокую стойкость к изнашиванию по отношению контрольным образцам. На триботехнические характеристики существенное влияние оказывает и морфология исследуемых электроискровых покрытий (рис. 1). Согласно полученных данных покрытия формируют развитую морфологию (а, в, д, ж). В структуре покрытий присутствуют наночастицы, которые определяют повышенные прочностные характеристики защитных слоев (рис. 1, б, г). В ходе нанесения покрытий в них возникают высокие внутренние напряжения, приводящие к образованию трещин (рис. 1, е). Наличие трещин в структуре покрытий может иметь и положительное влияние, в частности при эксплуатации со смазочной средой в условия ограниченного смазывания. Данные трещины могут выступать в роли резервуаров для смазочного материала. Структура покрытий является не градиентной, а скорее всего, имеет «sandwich»-строение (рис. 1, з).





**Рис. 2 – Морфология поверхностей трения покрытий формируемых методом электроискрового легирования:**

***a* – образец № 1; *б* – образец № 2; *в* – образец № 3; *г* – образец № 4.**

**Снимки получены методом РЭМ.**

Полученные результаты по исследованию поверхности трения электроискровых покрытий свидетельствует о том, что в первую очередь происходит износ макровыступов, за тем происходит выглаживание поверхности ЭИЛ покрытия. В ряде случаев в результате высокой твердости покрытий износ макровыступов имеет низкие значения (рис. 2, *г*). Таким образом, покрытия полученные методом электроискрового легирования обладают высокими антифрикционными свойствами (образец № 4), что обусловлено высокими значениями твердости металлической матрицы. В вследствие, высоких скоростей охлаждения в покрытиях возникают высокие внутренние напряжения приводящие к образования трещин, которые в ряде случаев могут играть положительную роль при трибоконтакте. Формируемые покрытия имеют развитую морфологию, которая обуславливает, «кажущийся» высокий износ покрытий, вследствие истирания в первую очередь макровыступов покрытий в результате высоких значений давлений, возникающих в области трибоконтакта. В структуре покрытий формируются нанофазы, что сказывается на триботехнических и прочностных характеристиках покрытий.

#### **Список использованных источников**

1. Овчинников, Е.В. Тонкие пленки фторсодержащих олигомеров: основы синтеза, свойства и применение / Е.В. Овчинников, В.А. Струк, В.А. Губанов. – Гродно: ГГАУ, 2007. – 326 с.
2. Mikhailov V. V. and oth. Electrospark alloying of titanium and its alloys: The physical, technological, and practical aspects. Part I. The peculiarities of the mass transfer and the structural and phase transformations in the surface layers and their wear and heat resistance In: Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2013. Vol. 49, Issue 5, pp. 373–395.
3. Триботехнические характеристики композиционных многослойных покрытий / Е. В. Овчинников [и др.] // Трение и износ. – 2000. – Т. 21, № 2. – С. 147–155.

**Ю.Г. Павлюкевич, Л.Ф. Папко, А.П. Кравчук**  
Белорусский государственный технологический университет  
**Orhan Oguz Kendir, С.П. Хлыстов, Е. Солджунер**  
ООО «Этипродакте», Россия, г. Москва

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫХ СТЕКОЛ И ВОЛОКОН**

Непрерывные базальтовые волокна имеют широкую сферу применения, обусловленную их высокой механической прочностью, коррозионной стойкостью к воздействию агрессивных сред, хорошей термостойкостью и относительно низкой стоимостью. Показатели прочности на разрыв базальтовых волокон достигают 4840 МПа, модуля упругости 80–93 ГПа, температурный диапазон их применения составляет от –260 до 700 °С. Композиты на основе базальтового непрерывного волокна характеризуются высокими показателями ударной прочности и стойкости к знакопеременным нагрузкам, коррозионной и термической стойкости [1, 2].

Вместе с тем нестабильность химического состава базальтов, наличие тугоплавких кристаллических фаз, таких как плагиоклазы, оливин, кварц, обуславливают химическую неоднородность расплавов. Следствием этого являются высокая температура формования непрерывного волокна и нестабильность данного процесса.

Целью работы является улучшение технологических свойств базальтовых стекол путем модифицирования их состава. Для получения базальтовых стекол и волокон использовались композиции базальт – мел, базальт – доломит и базальт – колеманит. Композиции включали измельченный базальтовый щебень и 5–20 мас.ч. модифицирующего компонента. Для получения непрерывных волокон использовали базальт Подгорнянского месторождения (Украина) следующего усредненного химического состава, мас. %: SiO<sub>2</sub> 54,0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 18,2; FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 9,9; CaO 7,9; MgO 3,6; R<sub>2</sub>O 4,5; примеси 1,9. Модифицирующие компоненты сырьевых композиций представлены доломитом и мелом месторождений Беларуси. В качестве борсодержащего модифицирующего компонента использовали колеманит, поставляемый фирмой ETİMADEN.

Плавление базальтов и композиций на их основе проводили в газовой пламенной печи при максимальной температуре 1480±20 °С.

Показатели вязкости базальтовых расплавов являются определяющими при оценке пригодности горных пород для получения непрерывного

волокон, а также определения оптимального режима формования. При исследовании горных пород уделяется большое внимание реологическим свойствам расплавов, а также кристаллизации базальтовых стекол при термической обработке [3, 4].

Кристаллизационная способность модифицированных базальтовых стекол определялась по результатам градиентной термической обработки в интервале температур 600–1300 °С и по данным термического анализа. Высокотемпературная вязкость расплавов определялась на вискозиметре RSV–1600. По результатам исследования определены температурный интервал кристаллизации базальтовых стекол (нижняя и верхняя температуры кристаллизации  $T_{н.к}$  и  $T_{в.к.}$ ) и температура формования волокна, соответствующая вязкости  $\lg \eta = 1,5$  (таблица).

#### Характеристики технологических свойств модифицированных базальтовых стекол

Состав композиции	Содержание модификатора, мас.ч.	Температурный интервал кристаллизации, °С		Температура формования волокна, °С
		$T_{н.к}$	$T_{в.к.}$	
Базальт	–	800	1285	1335
Базальт – доломит	10	760	1300	1305
	20	750	1280	1280
Базальт – мел	10	750	1265	1275
	20	740	1285	1290
Базальт – колеманит	5	780	1260	1290
	10	760	1220	1270
	15	750	1185	1240
	20	750	1160	1220

Введение модифицирующих компонентов приводит к снижению высокотемпературной вязкости базальтовых расплавов (интервал значений 10–10<sup>4</sup> Па·с). Это обеспечивает снижение температуры формования волокна, как следствие, возможность снижения энергозатрат на данный технологический процесс и увеличения срока службы фильерных питателей. Однако повышение содержания модификаторов СаО и MgO в составе базальтовых стекол повышает их кристаллизационную способность, что обуславливает широкий температурный интервал кристаллизации. Разность температуры выработки и верхней температуры кристаллизации  $T_{в.к.}$  стекол, синтезированных на основе композиций базальт – доломит и базальт – мел, составляет 5–15 °С, что создает опасность их кристаллизации в процессе формования.

По влиянию на технологические свойства оптимальным является использование в составе сырьевых композиций колеманита. Совмест-

ное введение в состав базальтовых стекол CaO и B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> обуславливает не только существенное снижение их вязкости, но и снижение склонности к фазовому разделению. Безопасный интервал формования волокна при этом составляет 50–60 °С, что позволяет снизить температуру формования на 50–80 °С.

По результатам вытягивания волокна из расплавов стекол на основе композиций базальт – колеманит на однофильной лабораторной установке установлено, что с ростом содержания оксида бора процесс формования становится более стабильным, повышается качество волокна. Снижение вязкости и поверхностного натяжения борсодержащего базальтового расплава обуславливает химическую и структурную однородность волокон. Влияние данных факторов приводит к повышению прочности при растяжении единичных волокон. При получении борсодержащих базальтовых волокон диаметром 10 мкм показатели их прочности на растяжение составляют не менее 2100 МПа, что находится на уровне известных аналогов.

Химическую стойкость базальтовых волокон определяли по потерям массы образца при воздействии дистиллированной воды и 2 N раствора NaOH в течение 3 ч. Модифицированные базальтовые волокна характеризуются высокими показателями водостойкости, составляющими 99,4–99,6 %. Показатели щелочестойкости борсодержащих и безборных волокон находятся на одном уровне и составляют 99,1–92,8 %.

Таким образом, использование композиций базальт–колеманит в производстве непрерывного базальтового волокна дает технологические преимущества при обеспечении физико-химических свойств волокон на высоком уровне.

#### **Список использованных источников**

1. Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites / Edited by M. Ozgür Seydibeyoglu Amar K. Mohanty Manjusri Misra. – 2017. – P. 169–185.
2. Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres / Edited by Anthony R. Bunsell. – 2018. – P. 805–840.
3. Novitskii A. G., Efremov M. V. Technological aspects of the suitability of rocks from different deposits for the production of continuous basalt fiber. – Glass and Ceram. – 2013. – V. 69. – P. 409–412.
4. Татаринцева О. С., Ходакова Н. Н. Влияние условий получения базальтовых стекол на их физико-химические свойства и температурный интервал выработки непрерывных волокон // Физика и химия стекла. – 2012. – Т. 38, № 1. – С. 124–133.

## **ИМПАКТНЫЕ СТЕКЛА. ПЕРВЫЕ ЭКПЕРИМЕНТЫ ПО ФИЗИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ**

Образование импактных стекол происходит при соударении Земли и малого космического тела (астероида, метеороида и т.д.), когда кинетическая энергия преобразуется в механическую и тепловую. Процесс пороодообразования происходит на поверхности планеты и включает дробление, плавление и испарение вещества, а затем конденсацию пара, кристаллизацию расплава, частичную перекристаллизацию, перемещение и отложение продуктов дробления. Импактиты, как правило, включают в себя в той или иной степени ударно-метаморфизованные фрагменты – от практически неизмененных до полностью переплавленных. В момент удара давление может составлять сотни гигапаскалей, а температура превышает 10 000 °С. Эти параметры быстро падают (и в пространстве, и во времени) и скорость всех процессов, сопровождающих соударение, превышает скорость обычных геологических процессов на несколько порядков. Ударная нагрузка и температура поднимаются до предельных значений за несколько миллиардных долей секунды. Затем следует стадия сжатия вещества, сменяющаяся разгрузкой. Если сначала изменения давления и температуры происходят одинаково быстро, то при разгрузке ударные напряжения падают быстрее, чем температура.

Из импактного расплава в зависимости от скорости его остывания образуют стекла или разнообразные по степени кристалличности, пористости и другим особенностям породы. Импактные стекла, являясь продуктами высокотемпературных, гиперскоростных и высокобарических процессов, возникающих при ударном событии, затем подвергаются региональным процессам метаморфизма и, таким образом, проходят многие стадии своего развития. Коптогенные процессы сопровождаются окислительно-восстановительными реакциями с участием элементов переменной валентности, и в первую очередь железа.

Всестороннее изучение железосодержащих минералов в импактных стеклах и их искусственных аналогах представляет несомненный интерес как в области наук о Земле, так и в контексте бурно развивающегося применения магнитных веществ и материалов в современной науке и технике.

Минералогическое, геохимическое, петромагнитное исследование импактных пород имеет большое значение при решении вопросов региональной тектоники, моделирования импактных событий, определения их возраста. Также импактные породы с большой вероятностью могут фиксировать и сохранять свою первичную остаточную намагниченность в силу специфических условий их образования. Поэтому их изучение актуально для развития представлений об условиях и признаках сингенетичности магнитных минералов и естественной остаточной намагниченности. Решение этой задачи является необходимым условием проведения палеомагнитных исследований, для получения соответствующих современным критериям достоверности результатов.

Возрастающий интерес к магнитным системам обусловлен перспективностью использования магнитных материалов в современных высокотехнологичных устройствах. Изменяя размеры, форму, состав и строение частиц, можно в определенных пределах управлять магнитными характеристиками материалов на их основе. Создание искусственных образцов, которые воспроизводили бы наиболее характерные черты ферромагнетиков природных стекол в отношении состава, размеров, морфологии и магнитных состояний зерен, актуально в связи с постоянно расширяющимися возможностями применения магнитных материалов в электронике, медицине, технике.

Судя по литературным данным, эксперименты по воспроизведению плавления минералов и горных пород в момент импактного события, их последующего стеклования и кристаллизации, в применении к формированию железосодержащей фазы практически не проводились.

Основной целью проводимых нами исследований является создание искусственных аналогов природных стекол с использованием горных пород различного генезиса, которые воспроизводили бы наиболее характерные черты импактных стекол в отношении состава, размеров, морфологии и магнитных состояний зерен.

В качестве объектов исследования выбраны импактные стекла астроблемы Жаманшин (Казахстан). В кратере астроблемы Жаманшин присутствуют ряд импактных стекол – от тектитоподобных (микроиргизиты и иргизиты), до импактных расплавов, как массивных (тагамиты), так и бомб (жаманшиниты), а также зювитов. Их образование с геологической точки зрения происходило «мгновенно», но в то же время характеризовалось различными параметрами формирования. Быстро сменяющиеся фазы кратерообразования (сжатие, экскавация и модификация) и меняющиеся при этом окислительно-восстановительные условия позволили сформироваться в них железосодержащей

магнитной компоненте – от включений ионов железа в стеклянной матрице до минеральных единиц субмикронных и микронных размеров [1–4].

В лаборатории высокотемпературного синтеза БГТУ проведены пробные эксперименты по плавлению пород цокольного комплекса астроблемы Жаманшин (кварцитов, андезитов, глинистых пород) в газовой пламенной печи при температурах 1450–1500 °С при различных скоростях охлаждения расплавов. Изучение полученных образцов магнитометрическими, микроскопическими, спектроскопическими методами осуществлялись на оборудовании Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета.

Исследования магнитных свойств образцов включали проведение измерений магнитной восприимчивости (измеритель магнитной восприимчивости MFK-1FA Kappabridge and a CS4 furnace, Чехия) и остаточной намагниченности (магнитометр SRM 755 SQUID, США), определение параметров петель магнитного гистерезиса и кривых остаточного намагничивания (магнитометр Quantum Design MPMS 3, США), определение доменного состояния магнетика образцов, расчет эффективного размера магнитных зерен.

Микроминералогические исследования проводились на электронном сканирующем микроскопе Quanta 200 3D (FEI, Нидерланды) с аналитическим комплексом Pegasus 4000 (EDAX, USA) в режиме отраженных и вторичных электронов. Электронно-зондовый микроанализ выполнен на энергодисперсионном дифрактометре указанного микроскопа. Рентгенофазовый анализ выполнялся с использованием автоматического порошкового дифрактометра D2 Phaser (Bruker, Германия).

Для решения задачи идентификации магнитного упорядочения парамагнитных центров различной природы в структуре стекол – проявлению в них различных форм ферри-, ферро- и антиферромагнитных свойств, а также обнаружения явления суперпарамагнетизма были проведены исследования образцов метода ЭПР-спектроскопии. Эти работы проводилось на ЭПР-спектрометре Bruker ELEXSYS E580 (X-band,  $\nu \sim 10$  ГГц) в CW-режиме.

Эксперименты показали, что в структуре изученных материалов присутствуют железосодержащие магнитные компоненты. Отмечается зависимость структурного состояния железосодержащих фаз стекол от скорости остывания расплава и состава исходных горных пород.

По результатам первых опытов по физическому моделированию импактных стекол можно заключить о перспективности выбранного подхода к решению задачи определения генезиса и онтогенеза ферри-магнитных минералов и создания новых магнитных материалов на основе изучения природных ферримагнетиков.

## Список использованных источников

1. Железосодержащие микровключения в иргизитах / Е. С. Сергиенко [и др.] // Известия РАН. Серия физическая. – 2019. – Т. 83, № 11. – С. 1446–1454.

2. Структурное состояние железа импактных стекол различного генезиса: возможности ЭПР спектроскопии / Е.С. Сергиенко [и др.] // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород, РАН, Институт физики Земли, Геофизическая обсерватория «Борок». – Москва, Ярославль: Филигрань, 2019. – С. 208–214.

3. Magnetic properties of impact melts from the Zhamanshin crater, Kazakhstan / V. A. Starunov [et.al.] // Meteoritics & Planetary Science. – 2018. – 53(S1). – P. 6114.

4. Magnetism of tektite-like glasses from the Zhamanshin impact structure, Kazakhstan / V. A. Starunov [et.al.] // Meteoritics & Planetary Science. – 2018. – 53 (S1). – P. 6113.

УДК 678.01:678.073/.074

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

Белорусский государственный технологический университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ В СМЕСЯХ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА-6 И АБС-ПЛАСТИКА

За последние годы наблюдается определенная тенденция, направленная на получение и исследование полимерных композиционных материалов на основе несовместимых полимеров. Необходимость проведения исследований в этой области с одной стороны вызвана тем, что возможно получать композиционные материалы с совершенно новыми или необычными свойствами в результате механического смешения несовместимых полимеров, с другой стороны, необходимостью улучшить свойства смесей при вторичной переработке термопластов, не разделяющихся по плотности в результате их совместного сбора и измельчения. При изучении свойств полимерных композиционных материалов первостепенное значение приобретают исследования по оценке вклада каждого из компонентов смеси на их структурные особенности и деформационно-прочностные характеристики. Использование простых механических смесей полимеров, состоящих из компонентов с определенными свойствами, недостаточно для получения качественных материалов, что объясняется, как правило, отсутствием совместимости большинства пар полимеров из-за малой энтропии их смешения и слабой адгезии в межфазной области. [1]



Улучшение технологической совместимости полимеров позволяет решить многие практические задачи по получению конструкционных материалов с достаточно хорошими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. [2]

Наиболее простой способ добиться технологической совместимости компонентов в смеси пластмасс заключается в ведении в эту смесь третьего компонента, компатибилизатора, на стадии переработки смеси. В качестве таких компонентов часто используются вещества с двойственной структурой, имеющей области схожего строения с двумя другими компонентами смеси.

В работе было решено исследовать смесь двух инженерных пластиков, таких как полиамид-6 (ПА-6) и акрилонитрил бутадиен стирольный пластик (АБС), которые довольно часто используют как конструкционные материалы для различных деталей и корпусов бытовой техники, деталей автомобилей. В качестве совмещающего агента были исследованы термоэластопласты различной природы. Исследованная смесь состояла из ПА-6 с добавлением различного содержания АБС до 50 массовых процентов. В эти смеси добавили 5, 10 и 15% термоэластопласта стирол-этилен-бутадиен-стирольного марки TPE com natural, TPE com black, полиэфирного марки NYTREL 3078 и стирол-бутадиен-стирольный каучук ДСТ-30.

Процесс смешения в расплаве и получения экспериментальных образцов методом литья под давлением провели на термопластавтомате марки BOY-22A.

Технологическая совместимость проверялась по изменению таких свойств смеси как прочность и относительное удлинение при растяжении, твердость по Шору D и плотность.

Установлено, что для смесей на основе ПА-6 с содержанием АБС до 20% введение термоэластопластов марки TPE com natural и ДСТ-30 позволяет увеличить ее прочностные свойства. При этом эффективность достигается при небольших концентрациях термоэластопласта, не более 10%. Большее количество этого компонента не приводит к увеличению прочности при растяжении. Таким образом удалось добиться увеличения прочности при растяжении в композиции ПА-6 с 10% АБС и 5% ТЭП марки TPE com natural на 15%, что ниже прочности чистого полиамида всего на 2,9%.

#### **Список использованных источников**

1. Симонов-Емельянов И. Д. Основы создания композиционных материалов. Учебное пособие / И. Д. Симонов-Емельянов, В. Н. Кулезнев – М.: МИХМ, 1986. – 64с.
2. Кулезнев В. Н. Смеси полимеров / В. Н. Кулезнев – М.: Химия, 1980. – 304с.

**А.К. Поздняков, А.Ф. Петков, Н.А. Шерстюков**  
Воронежский государственный лесотехнический  
университет имени Г.Ф. Морозова

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛЕСОПОЖАРНЫХ ГРУНТОМЕТОВ-ПОЛОСОПРОКЛАДЫВАТЕЛЕЙ**

Для профилактики и тушения лесных пожаров используют такие технические средства, как лесные плуги и грунтометательные машины с комбинированными рабочими органами. В настоящее время такие машины энергоемки и малоэффективны, что существенно снижает качество и производительность технологического процесса. В предлагаемой работе был проведен сравнительный анализ технических средств для профилактики и тушения лесных пожаров, на основе которого сделан вывод о необходимости обоснования параметров рабочих органов и режимов работы лесопожарной грунтометательной машины с целью повышения эффективности проведения профилактических и лесопожарных мероприятий.

На сегодняшний день одной из самых острых проблем лесного хозяйства является эффективное проведение профилактических и лесопожарных работ, поскольку пожары представляют серьезную опасность для окружающей среды, населения и экономики.

Из почвообрабатывающих орудий, используемых для проведения профилактических лесопожарных работ, широкое распространение получил плуг ПКЛ-70. Главной задачей данного плуга является обработка почвы на нераскорчёванных вырубках с числом пней до 500 шт. на одном га и посадки лесных культур. Стоит отметить, что ПКЛ-70 довольно часто используется и для создания эффективных противопожарных полос [1]. Ширина прокладываемой грунтовой полосы составляет 1,2 м. Основным преимуществом ПКЛ-70 перед сельскохозяйственными плугами, является его более надежная конструкция, которая помогает ему преодолевать препятствия [5]. Плуг-канавокопатель навесной ПКЛН-500А применяется для обработки почвы под посадку лесных культуры и прокладки противопожарной полосы шириной 2,3 м, ширина по дну – 0,3 м, глубина канавы – 0,5 м. Однако, применяемые лесные плуги создают полосу недостаточной ширины (1...2, 3 м), которая не всегда способна создать защиту в условиях быстрого распространения очагов пожаров.

В ЛенНИИЛХе разработаны фрезерные грунтометательные машины ПФ-1, ГТ-3, АЛФ-10. Все лесные машины с фрезерными рабо-

чими органами по своей конструкции являются навесными, фрезерный рабочий орган приводится от вала отбора мощности трактора. Метание грунта на правую или на левую сторону осуществляется за счет изменения угла наклона направляющего кожуха [4]. Однако фрезерные машины ПФ-1 и ГТ-3 могут эффективно работать только на песчаных и супесчаных почвах [3].

В ВГЛТУ разработан грунтомет-полосопрокладыватель (рис. 1), который содержит фрезы-метатели с приводом от вала отбора мощности трактора и два сферических диска для рыхления почвы образования почвенного вала и смещения его к центру прохода агрегата. Этот грунтомет-полосопрокладыватель более эффективно работает в условиях лесных почв [3].



**Рис. 1 – Пожарный грунтомет-полосопрокладыватель**

Проведенные испытания пожарного грунтомета-полосопрокладывателя показали его недостаточную эффективность. Это обусловлено тем, что редуктор ограничивает доступ грунта к фрезам-метателям и снижает их производительность. Кроме этого, фрезы-метатели не защищены от ударов о пни и корни, поэтому снижается их надежность, а грунтомет-полосопрокладыватель имеет большие габариты и массу. Более совершенная конструкция лесопожарной грунтометательной машины была создана также в ВГЛТУ [4]. Машина включает фрезерный рабочий орган с тремя подвижными лопатками, установленными под углом 120 градусов и защитного кожуха-рыхлителя с предохранительными черенковыми ножами с тупым углом вхождения в почву (рис.2). Привод ротора осуществлялся от аксиально-поршневого гидромотора.



**Рис. 2 – Процесс метания  
грунта лесопожарной грунтометательной машиной  
в агрегате с трактором ЛХТ-55**

Недостатком данной лесопожарной грунтометательной машины является периодическое снижение ее эффективности, обусловленное тем, что при попадании к ротору-метателю крупных корней и порубочных остатков наблюдаются перегрузка гидропривода и частые срабатывания предохранительных клапанов, что приводит к потере энергии, которая превращается в тепло и вызывает перегрев рабочей жидкости. Кроме этого, при остановках ротора-метателя при встрече с препятствием снижается производительность агрегата, а прямоугольные окна в кожухе-рыхлителе препятствуют выбросу вместе с грунтом крупных порубочных остатков, что приводит к частому заклиниванию ротора-метателя.

На данный момент исследования технологического процесса лесопожарных и почвообрабатывающих машин, применяемых в лесном хозяйстве для проведения лесопожарных работ, неполно раскрывают процесс взаимодействия с почвой пассивных и активных рабочих органов. Все это затрудняет задачу создания новой машины на теоретическом и практическом уровнях. Поэтому необходимо проведение исследований новых конструкций лесопожарных машин с комбинированными рабочими органами, позволяющих усовершенствовать технологический процесс создания защитных полос и тушения лесных низовых пожаров.

#### **Список использованных источников**

1. Бартенев, И.М. К вопросу о тушении лесных пожаров грунтом [Текст] / И.М. Бартенев, Д.Ю. Дручинин, М.А. Гнусов // Лесотехнический журнал. – 2012. – № 4 (8). – С. 97–101.

2. Бартенев, И.М. Энергосберегающие и природосберегающие технологии в лесном комплексе [Текст] : учеб. пособие / И.М. Бартенев. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – 107 с.

3. Гнусов, М.А. Обоснование параметров комбинированных рабочих органов грунтомета для прокладки минерализованных полос в лесу [Текст]: дис... канд.тех.наук / М.А. Гнутов. – Воронеж, 2014. – 140 с.

4. Пат. 2616021 РФ, МПК Е 02 F 3/18. Лесопожарнаягрунтометальная машина [Текст] / М.В. Драпалюк, П.Э. Гончаров, Д.С. Ступников, А.В. Шаров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова». – № 2016 104672; заявл. 11.02.2016; опубл. 12.04.2017, Бюл. № 11 – 8 с.

5. Ступников, Д.С. Тенденции развития технических средств для тушения лесных пожаров [Текст] / Д.С. Ступников // Лесотехнический журнал. – 2016. –№ 2 (22). – С. 135–140.

УДК 666.97.031/.033

**<sup>1</sup>Поляков С.И., Енин П.В., <sup>2</sup>Парфенов А.В.**

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет

<sup>2</sup>Студия Парфенова, г. Воронеж, РФ

## **ДИСКРЕТНОЕ ВЕСОВОЕ ДОЗИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

Дозирование компонентов бетонных смесей представляет собой основную технологическую операцию при их производстве в процессе одного цикла смешивания. Именно дозирование определяет процентное соотношение компонентов в смеси, водоцементное отношение, реологические характеристики и является определяющим для получения качественных бетонных смесей. Важным для одного цикла смешивания является расчет количества исходных компонентов, учитывающий их характеристики, то есть состав бетонной смеси, иногда называемой рецептурой, а также выход бетонной смеси при перемешивании из смесителя.

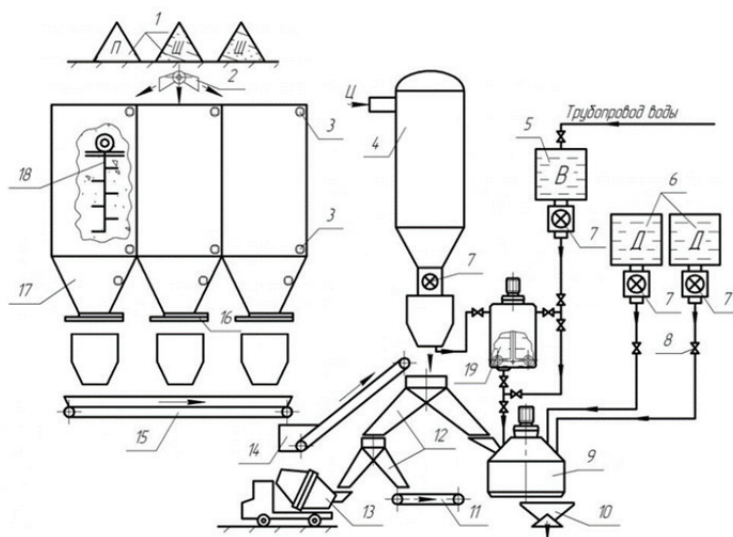
В основе принципа действия автоматических дискретных дозаторов лежит процесс уравнивания накапливаемого груза в чаше дозатора моментом или усилием со стороны весоизмерительной системы [1]. В настоящее время продолжают использоваться автоматические дозаторы, снабженные весоизмерительным рычажным устройством. К ним относится весоизмерительное устройство с меха-

низмом квадрантного типа. Но в последнее время техническая политика процессов взвешивания, в том числе и компонентов бетонных смесей, меняется. Весоизмерительная система создается на базе тензометрических и тензорезисторных датчиков массы. Тензометрическая измерительная система позволяет непосредственно формируемый груз в грузоприемном бункере преобразовать в измерительный сигнал соответствующий весу дозы.

Система автоматического управления предусматривает контроль, измерение основных технологических параметров, передачу сведений на пульт оператора о нарушениях и сбоях протекания технологического процесса.

В схеме используются порционные весовые дозаторы с циферблатными указателями, снабженные цифровыми датчиками веса (угла поворота). На рис. 1 приведена схема современного технологического участка БСУ с дискретными дозаторами.

Проанализируем опытные данные, полученные на реальном весовом оборудовании, по выявлению динамической погрешности дозирования цемента. Оценка точности взвешивания проводилась порционными дозаторами серии АД при весовом дозировании цемента компьютерным управлением процесса, а также ручным управлением. После внедрения системы управления дозированием компонентов бетонных смесей в дозаторном отделении бетоносмесительного цеха Межхозяйственного завода железобетонных изделий “Воронежский-2” возможным стало автоматическое управление весовым порционным дозированием составляющих смеси [2, 3].



**Рис. 1 – Схема технологическая типового бетоносмесительного узла с тензометрическими преобразователями**



Для компонентов бетонных смесей в соответствии принципом действия дозатора масса дозируемого материала уравнивается тяговым моментом весового устройства с одной стороны и весом груза в ковше дозатора с другой. Оператор выдает команду на подачу материала и следит за набором веса дозы до достижения ею заданной величины. Для весовых дозаторов дискретного действия погрешность дозирования компонентов бетонных смесей, в частности для цемента, не должна превышать  $\pm 2\%$ . Сыпучие и жидкие составляющие для бетонных смесей в соответствии с требованиями ГОСТ дозируют по массе. В табл. 1 приведены фактически отмеренные дозы цемента при ручном управлении дозаторами серии АД. Данные соответствуют измерениям, проведенным на Межхозяйственном заводе ЖБИ “Воронежский-2”.

**Таблица 1 – Оценка точности дозирования цемента весовым дозатором дискретного действия**

Заданная масса дозы, $m_n$ , кг	Порядковый номер дозы, $i$	Фактически взвешенная масса дозы, $m_{отм}$ , кг	Разность массы $i$ -той дозы от среднего значения, $m_{отм} - m_{ср}$ , кг	Разность массы $i$ -той дозы от заданного значения, $m_{отм} - m_n$ , кг
1	2	3	4	5
330	1	320	-7,2	-10
	2	320	-7,2	-10
	3	326	-1,2	-4
	4	345	17,8	15
	5	327	-0,2	-3
	6	323	-4,2	-7
	7	323	-4,2	-7
	8	325	-2,2	-5
	9	329	1,8	-1
	10	330	2,8	0
	11	323	-4,2	-7
	12	325	-2,2	-5
	13	320	-7,2	-10
	14	320	-7,2	-10
	15	350	22,8	20
	16	330	2,8	0
	17	315	-12,2	-15
	18	343	15,8	13
	19	321	-6,2	-9
	20	329	1,8	-1

Количество выполненных измерений  $n = 20$ . Под  $m_{cp}$  вычислялось для отмеренных весовых доз среднее значение массы.

Среднее значение массы отмеренных доз вычислялось по следующей формуле:

$$m_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i,$$

$$m_{cp} = \frac{1}{20} (320 + 320 + 326 + \dots + 329) = 327,2 \text{ (кг)};$$

Среднее отклонение вычислялось по следующей формуле  $M = \frac{1}{n}$

$$\sum_{i=1}^n |m_i - m_{cp}|.$$

Для масс отмеренных доз среднеквадратичное отклонение от среднего значения вычислялось согласно требованиям ГОСТ и ГСИ по формуле

$$\sigma = M_k \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - m_{cp})^2},$$

где табличное значение коэффициента  $M_k = 1,013$  для количества выполненных измерений  $n = 20$ ,

$$\sigma = 1,013 \sqrt{\frac{1}{19} (7,2^2 + 7,2^2 + 1,2^2 + \dots + 1,8^2)} = 9,2 \text{ (кг)};$$

Максимальное отклонение массы отмеренных доз от среднего значения вычислялось по формуле

$$b_{max} = 3\sigma,$$

$$b_{max} = 3 \cdot 9,2 = 27,6 \text{ (кг)};$$

Максимальное отклонение массы дозы от номинального значения вычислялось по формуле

$$\delta_{max} = b_{max} + |m_{cp} - m_n|,$$

$$\delta_{max} = 27,6 + |327,2 - 330| = 30,4 \text{ (кг)};$$

В результате относительная погрешность весового дозирования масс доз вычислялась по следующей формуле и составила

$$E_{max} = \frac{\delta_{max}}{m_n} \cdot 100\%$$

$$E_{max} = \frac{30,4}{330} \cdot 100\% = 9,21\%.$$



Следовательно, таким образом, при ручном управлении процессом весового дозирования относительная погрешность взвешивания цемента практически превысила допустимую относительную погрешность более чем в 4 раза.

Внедрение автоматизированной системы управления обеспечит контроль качества бетонных смесей, необходимую точность дозирования, контроль количества израсходованных компонентов, особенно цемента, корректировать состав смесей по результатам экспресс-анализа и данных лаборатории о физико-механическом состоянии исходных компонентов [4].

#### **Список использованных источников**

1. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
2. Поляков С.И. Статистическое прогнозирование и упреждение динамической погрешности дозирования // Журнал Известия вузов: Северо-Кавказский регион. Секция Технические науки. 2005. – С. 77–78.
3. Поляков С.И. Проблема точности дозирования материалов / Проблемы и перспективы лесного комплекса: Матер. межвуз. науч.-практ. конф. (26–27 мая 2005г.). Т. 2. Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2005. – С.45–49.
4. Поляков С.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов [Текст]: учеб. пособие / С. И. Поляков ; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – 372 с.

УДК 666.971.11

<sup>1</sup>С.И. Поляков, П.В. Енин, <sup>2</sup>А.В. Парфенов

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет

<sup>2</sup>Студия Парфенова, г. Воронеж, РФ

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

В работе проанализирована зависимость динамической погрешности весовых дискретных дозаторов циклического действия с квадрантным уравнивающим механизмом от времени свободного хода весоизмерительной системы при безударном поступлении материала в бункер с постоянной производительностью.

Обозначив через  $Q$ , силу веса материала, находящегося в бункере, приходящуюся на единицу массы колеблющейся системы, можно

определить полное перемещение  $X$  весоизмерительной системы с бункером вместе за время от  $t = 0$  до  $t = t_1$  по формулам Релея [1, 2]:

– для случая недемпфированного движения уравнение включает как вынужденные, так и свободные колебания

$$X = \frac{1}{P_0} \int_0^{t_1} Q \sin p(t_1 - t) dt,$$

– для случая демпфированного движения

$$X = \frac{1}{P_1} \int_0^{t_1} Q e^{-n(t_1-t)} \sin p_1(t_1 - t) dt,$$

где  $P$  – частота собственных колебаний недемпфированной системы, 1/с;  
 $P_1$  – частота колебаний системы в случае вязкого демпфирования, 1/с;

$$P_1 = \sqrt{P^2 - n^2},$$

где  $n$  – вязкое сопротивление, 1/с.

В практических задачах с достаточной точностью можно считать, что малое вязкое сопротивление  $n$  не влияет на период колебаний, если  $n \ll p$ . То есть можно принять  $P_1 = P$ .

Пусть дано уравнение движения с демпфированием

$$\ddot{X} + 2n \dot{X} + p^2 X = 0,$$

и введем обозначения

$$2n \dot{X} = c \dot{X}, \quad 2n = c,$$

где  $c \dot{X}$  – сила демпфирования;  $c$  – постоянный коэффициент, зависящий от вида демпфирующего устройства, равный величине демпфирующей силы при скорости равной единице.

Отсюда вязкое сопротивление  $n = \frac{c}{2}$ ;

И степень демпфирования  $D = \frac{c}{c_{кр}} = \frac{n}{P}$  или  $n = Dp$ .

Частоту колебаний системы в случае вязкого демпфирования можно записать в виде:

$$P_1 = \sqrt{P^2 - (Dp)^2}, \quad \text{или} \quad P_1 = P \sqrt{1 - D^2}$$

Динамическая погрешность взвешивания в момент  $t = t_1$  равна

$$\Delta X = X(t_1) - \delta_{ст},$$

где  $\delta_{ст}$  – статическое перемещение весоизмерительной системы под действием силы  $Q$ .

Это перемещение, согласно равно

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{Q}{P^2};$$

При безударном поступлении материала в бункер с постоянной производительностью силу веса материала определим из выражения

$$Q = qt,$$

где  $q$  – производительность питателя, отнесенная к массе колеблющейся системы.

С учетом последних выражений получены следующие выражения для перемещения  $X$  и динамической погрешности

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{P_0} \int_0^{t_1} Q \sin p(t_1 - t) dt = \frac{q}{p} \left( \frac{\sin(-pt + pt_1)}{p^2} \Big|_0^{t_1} + \frac{t \cos(-pt + pt_1)}{p} \Big|_0^{t_1} \right) = \\ &= \frac{qt_1}{p^2} - \frac{q \sin pt_1}{p^3}; \end{aligned}$$

$$\text{Динамическая погрешность } \Delta X = -\frac{q \sin pt_1}{p^3};$$

Случай демпфированного движения

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{p_1} q \int_0^{t_1} t e^{(-nt_1+nt)} \sin(-p_1t + p_1t_1) dt = \\ &= \frac{1}{p_1} q \left[ \frac{te^{nt-nt_1}}{n^2 + p_1^2} (n \sin(-p_1t + p_1t_1) + p_1 \cos(-p_1t + p_1t_1)) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{e^{nt-nt_1}}{(n^2 + p_1^2)} ((n^2 - p_1^2) \sin(-p_1t + p_1t_1) - 2n(-p_1) \cos(-p_1t + p_1t_1)) \Big|_0^{t_1} \right] = \\ &= \frac{1}{p_1} q \frac{t_1 p_1}{n^2 + p_1^2} - \frac{1}{p_1} q \cdot \frac{1}{(n^2 + p_1^2)^2} 2np_1 - \\ &\quad - \frac{1}{p_1} q \left[ \frac{e^{-nt_1} (n^2 - p_1^2) \sin p_1 t_1}{(n^2 + p_1^2)^2} - \frac{e^{-nt_1} 2np_1 \cos p_1 t_1}{(n^2 + p_1^2)^2} \right] = \\ &= \frac{qt_1 p_1}{p_1 (n^2 + p_1^2)} - \frac{2np_1 q}{p_1 (n^2 + p_1^2)^2} + \frac{q(n^2 - p_1^2) \sin p_1 t_1}{p_1 (n^2 + p_1^2) e^{nt_1}} + \frac{q 2np_1 \cos p_1 t_1}{p_1 e^{nt_1} (n^2 + p_1^2)^2} = \\ &= q \frac{e^{nt_1} (t_1 p_1 (n^2 + p_1^2) - 2np_1) + (n^2 - p_1^2) \sin p_1 t_1 + 2np_1 \cos p_1 t_1}{p_1 (n^2 + p_1^2)^2 e^{nt_1}} = \frac{A}{B}; \end{aligned}$$

При стремлении к критическому демпфированию

$$D \rightarrow 1, n = Dp, n = p, p_1 = \sqrt{p^2 - n^2};$$

$$p_1 = 0, X = q \frac{e^{nt_1}(0-0) + 0 + 0}{0}; \lim_{\substack{n \rightarrow p \\ p_1 \rightarrow 0}} X = \left( \frac{0}{0} \right).$$

По правилу Лопиталя необходимо раскрыть неопределенность вида  $\left( \frac{0}{0} \right)$ . Производная числителя

$$A' = e^{nt_1} [t_1 n^2 + 3t_1 p_1^2 - 2n] + n^2 t_1 \cos p_1 t - 2p_1 \sin p_1 t_1 - p_1^2 t_1 \cos p_1 t_1 + 2n(\cos p_1 t_1 - p_1 t_1 \sin p_1 t_1);$$

Производная знаменателя

$$B' = \left( p_1 (n^4 + 2n^2 p_1^2 + p_1^4) e^{nt_1} \right)' = \left( p_1 e^{nt_1} n^4 + 2e^{nt_1} n^2 p_1^3 + e^{nt_1} p_1^5 \right)' = e^{nt_1} n^4 + 6e^{nt_1} \cdot n^2 p_1^2 + 5e^{nt_1} p_1^4.$$

$$\lim_{\substack{n \rightarrow p \\ p_1 \rightarrow 0}} X = q \frac{e^{pt_1}(t_1 p^2 - 2p) + p^2 t_1 + 2p}{e^{pt_1} p^4} = q \frac{e^{pt_1} t_1 p^2 - 2pe^{pt_1} + p^2 t_1 + 2p}{e^{pt_1} p^4} =$$

$$= q \frac{t_1 p^2}{p^4} - q \frac{2p}{p^4} + q \frac{p^2 t_1 + 2p}{e^{pt_1} p^4} = \frac{qt_1}{p^2} - \frac{2q}{p^3} + q \frac{pt_1 + 2}{p^3 e^{pt_1}};$$

Динамическая погрешность при демпфировании критическом, то есть при степени демпфирования  $D = 1$

$$\lim_{\substack{n \rightarrow p \\ p_1 \rightarrow 0}} \Delta X = \frac{2q}{p^3} + q \frac{pt_1 + 2}{p^3 e^{pt_1}} = -\frac{2q}{p^3} + \frac{2qe^{-pt_1}}{p^3} + q \frac{pt_1 e^{-pt_1}}{p^3} =$$

$$= \frac{2q}{p^3} (e^{-pt_1} - 1) + q \frac{t_1 e^{-pt_1}}{p^2};$$

Отсюда динамическая погрешность определяется одним из следующих выражений:

$$\Delta X = \frac{2qt_1}{p^2} \left[ \frac{1}{pt_1} (e^{-pt_1} - 1) + \frac{1}{2} e^{-pt_1} \right]$$

или  $\Delta X = 2\delta_{\text{ст}} \left[ \frac{1}{pt_1} (e^{-pt_1} - 1) + \frac{1}{2} e^{-pt_1} \right]$

или также при стремлении к критическому демпфированию

$$\lim_{\substack{n \rightarrow p \\ p_1 \rightarrow 0}} \Delta X = -\frac{2q}{p^3} + qe^{-pt_1} \left( \frac{t_1}{p^2} + \frac{2}{p^3} \right).$$

Относительная погрешность равна  $E = \frac{\Delta X}{X_N} = \frac{\Delta X}{N_{\max} - N_{\min}}$ ;

где  $N_{\min} = 200$  кг, что соответствует  $11,67 \cdot 10^{-3}$  м;  $N_{\max} = 600$  кг или  $35 \cdot 10^{-3}$  м – ход тяги шкалы циферблатного квадратного указателя (УЦК).

Производительность питателя  $q$  в расчетах принята равной  $10 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ , что является средней производительностью, определенной экспериментально. Эта величина производительности соответствует приложению к бункеру силы, приведенной к тяге УЦК и отнесенной к одному килограмму приведенной массы, изменяющейся со скоростью

$$q = 0.163 \frac{\text{Н}}{\text{с} \cdot \text{кг}};$$

Расчетные формулы статического перемещения  $\delta_{\text{ст}}$  и динамической погрешности  $\Delta X$  имеют вид:

– для случая недемпфированного движения:

$$\delta_{\text{ст}} = 1,17 \cdot 10^{-3} t_1$$

$$\Delta X = -7 \cdot 10^{-5} \sin 16,7 t_1;$$

– для случая демпфированного движения:

$$\Delta X = -1.4 \cdot 10^{-4} + \frac{5.46 t_1 + 0.654}{4657 e^{16.7 t_1}};$$

Анализ результатов показал, что при известных при безударном поступлении материала в бункер с параметрах дозирования  $q$  и  $p$  возможно снижение динамической погрешности постоянной производительностью [3].

### Список использованных источников

1. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
2. Бокс Д., Дженкинс Г. Анализ временных рядов: Прогноз и управление. Монография. – М.: Мир, 1974. – Выпуск 1. – 406 с.
3. Поляков С.И. Автоматизация дозирования и учета расхода компонентов бетонных смесей. Диссер-я на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Воронеж, 1994. – 250 с.

## ПОЛУЧЕНИЕ КОРДИЕРИТОВОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ

Сочетание низкого значения термического расширения и достаточно высоких электроизоляционных показателей позволяют рассматривать кордиеритовую керамику как один из наиболее перспективных керамических материалов в данной области исследования. Однако, ряд недостатков данного материала (узкий интервал спекания, низкая плотность, высокая пористость, недостаточная механическая прочность) ограничивает область его применения. Кордиеритсодержащие материалы обладают высокими показателями электросопротивления и пробивного напряжения, но огнеупорность и температура деформации под нагрузкой во многих случаях сдерживают применение кордиеритовых изделий, например муфельей, капсулей и огнеприпаса печей. Основными проблемами технологии получения кордиеритсодержащих изделий являются высокие температуры синтеза, что необходимо для достижения надлежащего содержания кордиерита в материале, а также узкий интервал обжига, который обычно составляет 15–30 °С. В связи с тем, что месторождения кордиерита промышленного использования не имеют, традиционно синтез термостойких кордиеритовых материалов осуществляется на основе различных сырьевых материалов, как природных, так и синтетических. Для получения указанных материалов применяют композиции, которые включают каолины, глины, магнийсодержащие (тальк, серпентинит, дунит, хризотил-асбест, оливиниты, периклаз, магнезит) и глиноземсодержащие (технический глинозем, корунд, бокситы, гиббсит, диаспор) компоненты при различном их соотношении. Кроме того, в составы масс вводятся различные минерализующие добавки.

Керамика, синтезированная на основе следующих магнийсодержащих компонентов	Свойства керамики				
	Температура синтеза, °С	ТКЛР, $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$	Водопоглощение, %	Механическая прочность при сжатии, МПа	Фазовый состав
Тальк	1250	2,3–2,6	11–13	68–71	кордиерит, муллит, корунд, энстатит

Керамика, синтезированная на основе следующих магнийсодержащих компонентов	Свойства керамики				
	Температура синтеза, °С	ТКЛР, $\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	Водопоглощение, %	Механическая прочность при сжатии, МПа	Фазовый состав
Магнезит	1250	4,0–4,5	24–26	25–33	кордиерит, муллит, шпинель, кварц
Доломит		1,9–2,2	12–15	47–52	кордиерит, муллит, корунд, анортит, кварц
Серпентинит	1200	3,4–3,6	11–13	65–67	кордиерит, шпинель, форстерит
Дунит		4,0–4,2	9–10	60–61	кордиерит, шпинель, форстерит

В настоящей работе исследовалось влияние различных магнийсодержащих сырьевых компонентов на процессы, протекающие при синтезе кордиеритовой керамики, в качестве которых выступали доломит, магнезит, дунит, серпентинит, тальк. В качестве остальных компонентов массы применялись огнеупорные глины (глина «Веселовского» и «Новорайского» месторождения), а также технический глинозем. В качестве базовой выбрана технология однократного обжига изделий на основе системы  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , изготавливаемых наиболее распространенным в промышленности методом полусухого прессования. Повышение эффективности данного технологического процесса достигнуто за счет снижения температуры и продолжительности обжига изделий, вовлечения новых видов сырья при обеспечении требуемого уровня основных эксплуатационных характеристик получаемых изделий. В соответствии с поставленной целью, осуществлялся синтез керамических материалов с фазовым составом, максимально приближенным к алюмосиликату магния – кордиериту, стехиометрический состав которого соответствует формуле  $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ . Основной особенностью кордиерита является малое и равномерное в широком диапазоне температуры термическое расширение. Анализ данных литературы по составам используемых сырьевых композиций показал, что температура обжига изделий, в основном, варьирует в области 1320–1430 °С и во многом зависят от типа применяемого сырья,

прежде всего, глинистого, которое является основным источником глинозема и кремнезема в составе кордиеритовых масс и обеспечивает возможность получения изделий практически любым методом формования (прессование, экструзия, литье и др.). Ниже представлены результаты исследований материалов на основе различных магнийсодержащих сырьевых компонентов.

УДК 666.762.1

**Р.Ю. Попов, И.Н. Борисевич**

Белорусский государственный технологический университет

### **КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ОСНОВЕ $Al_2O_3$**

Корундовая керамика в настоящее время является одним из распространенных видов керамики устойчивой к ударным нагрузкам, поскольку обладает хорошим сочетанием целевых свойств (плотностью, твердостью, прочностью и трещиностойкостью).

В связи с этим предъявляемые требования к эксплуатационным свойствам для этих изделий весьма различны: устойчивость к большим механическим нагрузкам, износоустойчивость, стойкость по отношению к резким перепадам температур, требования по аэродинамике, химической стойкости и т. д. показали, что возможности создания на основе оксидов и их соединений новых керамических материалов далеко не исчерпаны.

Развитие теории спекания, успехи в области технологии порошков, создание новых технологических решений и принципов выбора добавок, накопление экспериментальных данных способствуют созданию теоретических основ направленного получения новых керамических материалов со специфическими свойствами, установлению новых эффектов, совершенствованию существующих технологий и качества материалов, существенному расширению областей применения керамики.

Актуальность приобретают исследования по разработке методов получения порошков с заданной дисперсностью и на их основе создание новых видов керамических материалов из оксидов и их соединений с высокими эксплуатационными свойствами, что возможно при широком использовании химических методов контролируемой подготовки



порошков и применении специальных модифицирующих добавок. В результате исследований были разработаны новые теоретические и технологические принципы получения оксидной керамики, что позволило создать ряд новых керамических материалов высокого качества на основе оксидов и их соединений.

При разработке технологии получения высокоглиноземистых керамических материалов, большое влияние уделяется снижению температуры обжига. Этого достигают путем введения различных добавок. Наиболее эффективными добавками являются те, которые в процессе обжига вызывают появление жидкой фазы, однако могут несколько ухудшать механические свойства керамики.

Основные области применения таких материалов: футеровка мельниц, гидроциклонов, бетономешалок, экструдеров, транспортеров, труб и прочего изнашиваемого оборудования, кольца торцовых уплотнений, фильеры, проводки, направляющие подшипники скольжения, валы и футеровка проточных частей химических насосов, мелящие тела, части бумагоделательного оборудования, горелки, насадки экструдеров (керны), тигли, элементы клапанов и запорной арматуры, сопла для аппаратов аргонно-дуговой сварки, электроизоляторы, бронезащиты и многие другие [1–3].

Для керамики особое практическое значение играют прочностные показатели в широком интервале температур, что имеет большое практическое значение при определении областей техники, в которых целесообразно использовать керамические композиционные материалы. Изготавливать высококачественные изделия из порошков практически невозможно без применения специальных добавок. Поэтому, одной из основных проблем в технологии современной оксидной керамики является разработка методов получения порошков заданной дисперсности, формы частиц и активности к спеканию.

Благодаря твердости и высокой энергопоглощающей способности керамика позволяет ее применять в различных сферах, связанных с экстремальными условиями, в том числе конструировать защиту разного уровня, но наиболее целесообразно ее применение в композитных бронепанелях для защиты от воздействия боеприпасов. Путем варьирования состава и структуры керамики и материала основания можно получать бронепанели, различные по поверхностной плотности, стойкости, живучести (числу попаданий без пробития в единицу площади бронепанели), массе, для средств индивидуальной защиты, эргономичности, эксплуатационной стойкости, а также цене и возможности массового производства.

Наиболее экономически выгодным и распространенным компонентом для изготовления керамических изделий устойчивых к удар-

ным нагрузкам является оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – белый тугоплавкий порошок, температура плавления  $2044^\circ\text{C}$ , температура кипения  $3530^\circ\text{C}$ , плотность  $4000\text{ кг/м}^3$ , по твердости близок к алмазу. Известно несколько кристаллических форм оксида алюминия, до  $2044^\circ\text{C}$  стабильна кристаллическая модификация  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  – корунд. Его кристаллическая структура представляет собой двухслойную плотнейшую шаровую упаковку из ионов кислорода, в октаэдрических пустотах которой размещены ионы алюминия, решетка ромбоэдрическая.

В качестве сырья в работе использовался технический глинозем марки ГК, а также применялись минерализующие добавки, в качестве которых выступали периклаз, мел, доломит,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{MnO}_2$ .

В процессе выполнения работы определены оптимальные соотношения используемых сырьевых материалов, а также вводимых добавок и установлены технологические параметры синтеза материалов.

Подбор сырьевых компонентов для осуществления технологических процессов по выбранной технологической схеме производства основан на получении качественного продукта с длительным сроком эксплуатации.

На основании проведенных исследований, в качестве оптимального выбран состав, включающий технический глинозем ГК, а также комплекс минерализующих добавок  $\text{TiO}_2$  и  $\text{MnO}_2$ . Подобраны технологические параметры получения материала, характеризующегося следующими показателями свойств после обжига при температуре  $1500^\circ\text{C}$ : водопоглощение –  $0,4\%$ ; открытая пористость –  $1,47\%$ ; кажущаяся плотность –  $3640\text{ кг/м}^3$ ; механическая прочность при сжатии –  $488\text{ МПа}$ .

Исследования фазового состава опытных образцов позволил сделать вывод о том, что материал представлен преимущественно кристаллической составляющей (корунд), в качестве побочных фаз фиксировались тиалит и рутил.

### **Список использованных источников**

1. Бакунов, В.С. Особенности технологии высокоплотной керамики. Активность активных порошков при спекании / В.С Бакунов, Е.С Лукин // Стекло и керамика. – 2008. – № 11. – С. 21–25.

2. Керамическая масса: пат. 2136626 Российская Федерация, МПК С 04 В 33/24 / В.М. Погребенков, А.А. Решетников, В.И. Верещагин; заявитель: Томский политехнический университет; заявл. 12.03.97; опубл. 10.09.99 // [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://findpatent.ru/>. – Дата доступа: 28.12.2018.

3. Композиционная керамика на основе электроплавленного корунда с эвтектической добавкой системе  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{MnO}$  / А.Ч. Мое [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – № 3. – С. 10–12.

## **ПОЛУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ГЛИНИСТЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Современные теплоизоляционные материалы, характеризующиеся невысокой теплопроводностью и значительной пористостью, широко используются для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, технологического оборудования и различных теплотехнических установок (сушилок, печей, холодильных камер и т. д.). Их применение обеспечивает достижение высоких технико-экономических показателей и способствует существенному снижению расхода основных строительных материалов и, что более важно, топливно-энергетических ресурсов.

Использование новых эффективных теплоизоляционных материалов в строительстве приводит к улучшению комфорта в жилых и промышленных помещениях, а также снижает себестоимость возведения строительных конструкций за счет уменьшения нагрузки на фундамент и, следовательно, снижает уровень затрат на него. Широкое распространение среди различных видов теплоизоляционных материалов, в особенности, применяющиеся в ограждениях тепловых агрегатов, получили керамические алюмосиликатные изделия.

Высокие теплоизоляционные характеристики подобных материалов обеспечиваются низкой теплопроводностью (около 0,174 Вт/(м·К)) и высокой пористостью (более 45 %), что достигается рациональным сочетанием целого ряда факторов: химическим, фазовым и гранулометрическим составом исходных компонентов масс и конечного продукта; размером, количеством и взаимным распределением пор и присутствующих в материале кристаллических фаз. В керамической технологии традиционно применяют различные методы поризации структуры: вспучивание, введение выгорающих добавок, использование азрирования, пенообразования или химического газообразования и другие.

Анализ литературных данных показывает, что применение шликерной технологии с использованием пенообразователей позволяет получать материалы, характеризующиеся высокой пористостью (до 85 %), равномерной ячеистой структурой, и как следствие обладающие вы-

сокими шумо- и теплоизоляционными свойствами. Ранее проведенные исследования позволили установить, что для получения пористой ячеистой структуры материала могут использоваться пенообразователи для тушения пожаров с истекшим сроком годности. Согласно данным Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций, ежегодно в Республике Беларусь образуется порядка 70–100 т пенообразователей, у которых показатели качества не соответствуют требованиям ТНПА.

В данной работе при синтезе керамических теплоизоляционных материалов использовались огнеупорные (каолин «Дедовка» или «Ситница», глина «Веселовского месторождения») и тугоплавкие глинистые материалы (глина «Городок», «Городное»), а также различные отощители. В качестве отощающих добавок при синтезе использовались кварцевый песок Гомельского ГОКа, дегидратированная глина «Городное», гранитоидные отсева, шамот алюмосиликатный.

Первая серия составов разрабатывалась на основе следующих компонентов: глина «Керамик-Веско», алюмосиликатный шамот и обогащенный каолин «Дедовка».

Составы второй серии получали на основе местного тугоплавкого глинистого сырья месторождений «Городок» или «Городное» с введением отощающих добавок.

Для создания ячеистой структуры использовался пенообразователь «Барьер-пленкообразующий», применяющийся для получения пены при тушении пожаров отдельных видов горючих жидкостей (спирты, альдегиды, кетоны и др.). Указанный пенообразователь представляет собой водный раствор поверхностно-активных веществ (ПАВ), который используется для получения воздушно-механической пены. Основные свойства пенообразователя и пены, полученной из него методом диспергирования свидетельствуют о возможности использования пенообразователя «Барьер-пленкообразующий» с истекшим сроком годности при получении поризованной керамики.

В качестве крепителей пеномассы использовались портландцемент М400 и гипсовое вяжущее марки Г-5 в количестве 10–20 % (сверх 100 %). Указанные крепители за счет активного поглощения влаги при гидратации способствовали упрочнению отлитого полуфабриката, ускорению процессов сушки, а также обеспечивали четкость граней и углов при распалубке полуфабриката.

Теплоизоляционные материалы получали по шликерной технологии. Предварительно подготовленные сырьевые компоненты смешивались в необходимых соотношениях, затем добавлялась вода до влажности

шликера 40–50 %. Полученная суспензия тщательно гомогенизировалась. Отдельно готовилась пена методом диспергирования пенообразователя в лабораторной мешалке, а затем вводилась в шликер. Приготовленная суспензия характеризовалась следующими технологическими параметрами: влажность – 64,5 %, водородный показатель – 11,3; текучесть через 30 с после выстаивания – 7 с. При постоянном перемешивании добавлялся мездровый клей, а затем крепители.

Формование полуфабриката осуществлялось методом литья приготовленного шликера в специальные формы, в которых изделия подвяливались до остаточной влажности 15–18 %. Сушка отливок производилась в форме в электрическом сушильном шкафу SNOL 58/350 при температуре 100–110 °С до влажности 1,5–2,0 %. Обжиг изделий осуществлялся в электрической печи SNOL 6,7/1300 в интервале температур 1100–1300 °С в зависимости от химико-минералогического состава массы. Средняя скорость подъема температуры составляла 250 °С/ч, выдержка при максимальной температуре – 1 ч.

Материалы, полученные на основе составов первой серии, характеризовались следующими физико-техническими свойствами: водопоглощение 61–72 %, кажущаяся плотность 540–980 кг/м<sup>3</sup>, общая пористость 61,4–75,0 %, прочность при сжатии 1,35–2,8 МПа. Установлено, что с увеличением температуры синтеза от 1200 до 1300 °С закономерно уменьшаются водопоглощение и открытая пористость на 3,5–6,0 % и 2,0–3,2 % соответственно. Кажущаяся плотность при этом повышается на 2,0–2,7 %. В большей степени температура синтеза оказывает влияние на показатели механической прочности при сжатии, значения которых увеличиваются на 15–25 % при повышении температуры от 1200 до 1300 °С.

Повышение температуры обжига способствует интенсификации процессов спекания за счет увеличения количества эвтектического расплава, в котором частично растворяются зерна твердых частиц. При этом происходит их сближение и перемещение жидкости в промежутки между зернами, вследствие чего поры (пустоты) заполняются жидкой фазой, что и приводит к уменьшению водопоглощения, открытой пористости и увеличению кажущейся плотности и механической прочности.

Коэффициент теплопроводности исследуемых материалов, определенный с помощью измерителя теплопроводности марки ИТ-λ-400, составляет 0,14–0,35 Вт/(м·К), что соответствует требованиям, предъявляемым к промышленным шамотным легковесным материалам. Теплоизоляционные материалы, синтезированные на основе второй

серии составов при температурах 1100–1300 °С, характеризовались следующими свойствами: водопоглощение 61–73 %, кажущаяся плотность 202–1074 кг/м<sup>3</sup>, общая пористость 59–92 %, прочность при сжатии 0,4–2,8 МПа. Установлено, что с увеличением температуры обжига закономерно уменьшаются водопоглощение и открытая пористость на 6–12 %. Кажущаяся плотность при этом повышается в среднем в 1,2 раза. Коэффициент теплопроводности полученных материалов составляет 0,12–0,31 Вт/(м · К).

Следует отметить, что при температуре обжига 1150 °С и выше образцы, полученные на основе тугоплавких глин и отошающей добавки (более 50 %) в виде дегидратированной глины, гранитоидных отсеков и кварцевого песка деформировались, поменяли существенно свою форму, цвет, что свидетельствует о пережоге материала и объяснялось увеличением содержания оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов, а также соединений железа.

Наилучшими показателями свойств характеризуются теплоизоляционные материалы, синтезированные на основе составов, включающих тугоплавкую глину «Городок» и алюмосиликатный шамот. Отмечается, что во всем интервале температур синтеза (1100–1300 °С) не наблюдается признаков пережога материалов, а образцы обладают необходимым комплексом физико-химических свойств.

Установлено, что введение гипсового вяжущего и портландцемента в составы экспериментальных масс оказывает неодинаковое влияние на прочностные, а также теплофизические характеристики синтезируемой керамики. На кажущуюся плотность, истинную пористость и водопоглощение содержание гипсового вяжущего не оказывает существенного влияния. С увеличением содержания гипса увеличивается механическая прочность при сжатии керамики в 6 раз, однако это приводит к повышению коэффициента теплопроводности материала в 3 раза.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что количество гипсового вяжущего марки Г5 и портландцемента М 400 в исходных сырьевых смесях по 15 % (сверх 100 %) является оптимальным.

Проведенные исследования показали целесообразность применения огнеупорного и тугоплавкого глинистого сырья Беларуси, а также отходов пенообразователей для получения теплоизоляционных керамических материалов, что позволит организовать их производство на предприятиях РБ, а также решить проблему утилизации пенообразователей для пожаротушения с истекшим сроком годности.

## **ОГНЕЗАЩИТНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КОНСТРУКЦИЯМ**

Одними из наименее пожарозащищенных строительных элементов являются стальные несущие конструкции. Для большинства сталей критическая температура принята равной 500°С, а после ее достижения происходят деформации строительных конструкций и практически мгновенное их разрушение. В настоящее время в зданиях с высокими требованиями по огнестойкости, в особенности в жилом многоэтажном строительстве, несущие стальные конструкции практически не применяются.

Известные способы огнезащиты штукатурками, красками и облицовкой кирпичом и листовыми материалами, как правило, не удовлетворяют современным требованиям из-за высокой трудоёмкости, стоимости, малой долговечности. Кроме того, большая массивность значительно увеличивает вес конструкций, что делает их неприемлемыми для использования.

На рынке строительных материалов Республики Беларусь сегмент огнестойких материалов на основе защитных покрытий представлены немногочисленными видами продукции, в основном, зарубежных торговых марок: «СаpaTherm», «Tikratermostop» на полимерной связке (ФРГ), «Феникс», на основе жидкого калиевого стекла ОПВ-1, ОФП-МВ, ОПВ-180, ВПМ (РФ) и некоторыми другими. Однако указанные зарубежные материалы не обеспечивают требуемую для зданий I степени огнестойкости защиту стальных несущих конструкций. Это обусловлено тем, что важнейшие эксплуатационные свойства огнезащитных материалов по своим показателям находятся ниже требуемых. Так, предел огнестойкости (время сохранения жесткости строительных конструкций) должен быть не менее 150 минут, а в действительности лежит в пределах 60–100 минут. Аналогичная картина и со сроком эксплуатации – по нормативам он должен быть не менее 10 лет, а фактически применяемые материалы служат 5–10 лет. Кроме того, большинство зарубежных огнезащитных составов стоят дорого – от 1500 до 15000 долларов США.

Таким образом, не смотря на многообразие применяемых средств огнезащиты, в строительном комплексе Республики Беларусь отсутствуют

эффективные огнезащитные материалы отечественного производства. В этой связи разработка доступных отечественных огнезащитных материалов 1-й группы огнестойкости является весьма актуальной.

Практика применения огнезащитных покрытий позволила установить, что наиболее ответственным компонентом в этих композитах является связующее, которое должно обеспечивать адгезию, термостойкость, огнеупорность и ряд других эксплуатационных свойств.

Рассмотрев наиболее распространенные варианты огнезащиты, разработку огнезащитных составов авторы проводили на основе фосфатных материалов, так как они в наибольшей степени удовлетворяют следующим требованиям:

- жаростойки, и поэтому изолируют тепловой поток;
- препятствуют распространению пламени;
- не искрят;
- не выделяют угарный газ при нагревании и термическом разложении;
- характеризуются отсутствием дымообразующей способности, отсутствием токсичных продуктов горения, что особенно важно при использовании их на путях эвакуации;
- ингибируют коррозию стали.

Из многочисленных видов фосфатных цементов для решения поставленной задачи авторами рассматривались, в первую очередь, следующие:

- использование которых экономически целесообразно;
- отверждаемые при комнатной температуре;
- при разложении которых будет выделяться химически связанная вода, а также другие газообразные продукты, которые в совокупности препятствуют доступу кислорода в зону горения и тем самым выполняют своего рода огнетушащую функцию.

Для разработки огнезащитных составов была принята к исследованию система  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{—}(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4\text{—MgO—Cr}_2\text{O}_3\text{—H}_2\text{O}$ . Данная система являлась сложной, она была не изучена, сведений о характере кристаллизационных процессов, лежащих в основе твердения этой композиции, в литературе не было обнаружено. Одной из важных целей работы явилось также установление термохимических превращений огнезащитного покрытия, что позволит в дальнейшем управлять процессом получения такого связующего и внесет определенный вклад в химию и технологию фосфатных цементов и материалов на их основе.

В результате проведенных исследований предложен состав огнезащитного покрытия, включающий молотый вторичный переклазо-



хромитовый огнеупор, аммофос, модифицирующие добавки, вспученный минеральный наполнитель. Изучены показатели его физико-технических и эксплуатационных свойств.

Технико-экономические показатели отечественного огнезащитного композиционного покрытия на фосфатном связующем приведены в таблице.

**Таблица – Технико экономические показатели огнезащитного материала**

Технико-экономические показатели	Белорусское огнезащитное композиционное покрытие на фосфатной связке	Зарубежные аналоги на полимерной основе («Агнитерм», Феникс, Tikratermostop, CapaTherm (Caparol))	Составы на основе водорастворимого калийсиликатного стекла (ОПВ-1, ОФП-МВ, ОПВ-180, ВПМ и др.)
Предел огнестойкости, не менее, минут (время сохранения жесткости строительных конструкций)	не менее 150 (не горючий материал)	60 (горючий материал)	150 (не горючий материал)
Толщина покрытия, см	до 5	5-6 слоев (0,025)	до 5
Условия эксплуатации	Внутри и снаружи зданий (влагостойкий состав)	Внутри и снаружи помещений (влагостойкие составы)	Внутри помещений (не влагостойкие составы)
Срок эксплуатации, лет	более 10	5–10	5–10 (в сухих условиях)
Расход, кг/м <sup>2</sup>	5–15	1,5	6–17
Ориентировочная стоимость (долл. США) за 1 кг	2 (сухая смесь)	7,0- 15	1 (пастообразное состояние)

Предварительные экономические расчеты стоимости покрытий на фосфатной связке показывают, что по сравнению с составами на жидком стекле они дешевле в 5–10 раз, а по сравнению с вспучивающимися органическими огнезащитными составами – в 30 раз. Разработанные материалы являются эффективными и доступными. Их использование позволит решить проблему огнезащиты стальных конструкций и, безусловно, могут быть использованы в строительном комплексе страны.

Промышленное использование предлагаемого отечественного композиционного огнезащитного материала позволит решить проблему защиты стальных конструкций и, безусловно, может быть использовано в строительном комплексе страны.

#### **Список использованных источников**

1. Пожарная безопасность строительства: Г. И. Касперов [и др.] курс лекций. – Минск: КИИ МЧС Республики Беларусь, 2007. – 266 с.
2. Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь. Огнезащитные средства для стальных конструкций. Общие требования. Методы определения огнезащитной эффективности: НПБ 12 – 2000. – Введ. 01.03.2000. – Минск: КИИ МЧС Республики Беларусь, 2000. – 9 с.
3. Филимонов, В. П. Тенденция развития рынка материалов для пассивной огнезащиты / В. П. Филимонов, Пожаровзрывобезопасность, 2003. – № 4. – С. 49–55.
4. Новые огнезащитные покрытия Н. М. Иванова [и др.]. – Строительные материалы, 1998. – № 12, – с.12.
5. Бычек, И. В. Технология получения фосфатного связующего и жаростойких бетонов холодного отверждения из хромсодержащих отходов: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.17.11 / И. В. Бычек. – Минск, 2004. – 21 с. : ил. – Библиогр.: с. 17–18.

УДК 614.8

**Д.А. Серебренников**

Тюменское высшее военно-инженерное командное училище  
имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова

### **АНАЛИЗ ОПЫТА ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Научные исследования в области обеспечения безопасности опасных производственных объектов (ОПО) в России проводятся уже на протяжении более 20 лет, их начало относится к 90-м годам прошлого века. Первоначально, исследования касались разработки теоретической основы, как первого этапа, необходимого для создания базы нормативной документации. Разработанная НТД, в дальнейшем, предполагалась к использованию в отрасли промышленной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса.

Необходимо отметить, что проблемам повышения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов посвящено достаточно много работ не только отечественных, но и иностранных ученых. Среди них наибольший вклад внесли: Александров А.А., Акимов В.А. Бакиев Т.А., Гендель Г.Л., Гельфанд Б.Е., Гумеров А.Г, Глебов Е.В. и др.

Исследования указанных ученых, в основном относятся к области разработки методик анализа возможного возникновения производственного риска и оценке величины промышленной безопасности на нефтегазовых объектах, но в дальнейшем полученные выводы стали экстраполировать и на другие области ОПО, например, на объекты химического комплекса и т.д.

При разработке указанных методик объекты нефтегазового комплекса рассматривались как замкнутые стационарные самостоятельные системы, параметры которых не будут зависеть от времени, т.е. не изменяются в период эксплуатации. Данный факт уменьшает достоверность предложенных методик, следовательно, опыт их применения, представленный в исследованиях, ограничен оценкой величины риска промышленной безопасности опасного производственного объекта в определенном промежутком времени. Другими словами, в представленной методике не учитываются те риски, которые связаны с изменением эксплуатационных параметров технологического оборудования вследствие его продолжительной эксплуатации.

Важным фактором при проведении упомянутых исследований, является то, что любая деятельность, проводимая в их рамках, неизбежно заканчивалась реализацией концепции «абсолютной надежности». Такая концепция основана на оценке только абсолютных показателей опасности промышленного объекта. Этот факт очень часто показывал невозможность эффективного прогнозирования возможности возникновения аварийных ситуаций на ранних стадиях эксплуатации ОПО, и, как следствие, невозможность их своевременного предотвращения, как при возникновении локальных инцидентов, так и при крупномасштабных аварийных ситуациях.

Кроме того, недостаточное внимание экспертов к предупредительному, организационному, техническому и информационному обеспечению технологических процессов, при разработке систем аварийной защиты объектов, также является негативным фактором, отрицательно влияющим на обеспечение безопасности опасных промышленных объектов.

Вследствие вышесказанного, на сегодняшний момент времени предложены критерии оценки таких рисков, как «интегральный» и

«интегрированный». Однако такие риски отражают предполагаемый ущерб только в ценовом выражении, и также являются малоэффективными при раннем предупреждении аварийных ситуаций.

В отличие от нашей страны, за рубежом концепция обеспечения безопасности опасных производственных объектов основана на так называемом «допустимом абсолютном» риске. Такая концепция отличается от принятой в России наличием автоматизированных систем управления, обеспеченных обратной связью, что позволяет поддерживать высокий уровень надежности и промышленной безопасности опасного объекта при минимальном вмешательстве в процесс обслуживающего персонала.

Основываясь на вышеперечисленных фактах, в России начали разработку и внедрение концепции «приемлемого риска». Данная концепция основана на внедрении в процесс предупреждения аварийных ситуаций теоретических положений адаптивного управления промышленной безопасностью на опасных производственных объектах, основанных на профилактических, организационных и технических мероприятиях.

Как было сказано выше, опасные объекты и технологические процессы воспринимаются как статические системы с неизменяющимися во времени параметрами, что не учитывается на современном уровне методики анализа системных рисков. Одновременно с этим, постоянно меняющиеся риски возникновения аварийных ситуаций вызывают большие погрешности в предупреждении опасных ситуаций, и при идентификации их первичных признаков снижают достоверность диагностической информации.

В начале 2000-х годов стали разрабатывать принципы анализа показателей риска, включая такой риск, как индивидуальный, социальный, коллективный и потенциальный, а также возможный ущерб от них. При этом результаты анализа риска при проектировании ОПО показывают, что вся концепция строится на принципах качественной экспертной оценки опасных ситуаций.

Таким образом можно назвать основные причины малой эффективности существующей системы промышленной безопасности, а также низкой достоверности данных, которые получают при количественном анализе возможных рисков. К ним относятся:

- большая погрешность экстраполяции вводных данных, которая является причиной низкого качества возможности предупреждения возникновения аварийных ситуаций;
- обеспечение безопасности опасных производственных объектов на уровне статических систем;

- экспертный метод оценки является достаточно субъективным, вследствие чего присутствует возможность наличия низкой достоверности информации, а иногда и ее несоответствие действительности;
- при диагностике системы ОПО не учитывается динамическое изменение многочисленных факторов, поступающей информации, а также не учитываются параметры окружающей среды;
- на промышленных объектах существует определенная взаимосвязь между зависимыми и независимыми случайными процессами во время эксплуатации технологического оборудования, что не учитывается;
- существование погрешности, которая обусловлена низким качеством «деревьев событий и отказов», используемых при осуществлении экспертной оценки опасных ситуаций.

### **Список использованных источников**

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997 (с изменениями от 25.06.2012) // Гарант плюс.
2. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности / Утв. Приказом Ростехнадзора России от 12.03.2013 г., № 101. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследования проблем промышленной безопасности», 2013. – 288 с.

УДК 621.65:532.528

**И.А. Снигирева**

Тюменский индустриальный университет

### **МЕТОД АКУСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАВИТАЦИИ НАСОСОВ**

Известно, что все насосы в той или иной мере подвергаются кавитации [1]. Это происходит, когда статическое давление на всасывающем отверстии или через рабочее колесо падает ниже давления насыщения, соответствующего температуре жидкости. Давление снижается из-за многих аспектов; один из неотъемлемых факторов – направляющие лопатки на входе.

При угле предварительного витка в 24 градуса направляющие лопатки на входе вызывают падение давления на 7,6% на входе во всасывающую трубу. В точках, где давление падает, жидкость начинает

вскипать и испаряться с появлением пузырьков, где их количество и размер зависят главным образом от величины рабочего давления. Пузырьки движутся вместе с потоком жидкости и разрушаются, когда достигают зон максимального давления на поверхности лопатки [2].

Разрушение пузырьков вызывает колебания давления с максимальной амплитудой на передней кромке лопатки для кавитационного потока в 2,54 раза больше, чем для некавитационного потока. Кавитация вызывает разрушительные последствия в результате колебаний давления, проявляемого в звуковом спектре и вибрации. Это приводит к невозможному снижению гидравлических характеристик, питтинговой коррозии рабочего колеса и эрозии материала.

В связи с этим кавитация в насосах должна быть оперативно обнаружена и предотвращена. Есть несколько методов для обнаружения начинающейся кавитации. Обнаружение кавитации по акустическим измерениям основано на анализе источников генерируемого шума от насоса.

Механические источники шума обладают особенностями вибрации компонентов, благодаря чему их можно выделить: колебания давления в каналах потока насоса, неисправные компоненты, такие как рабочее колесо, уплотнения, подшипники, несбалансированные рабочие колеса, неправильная установка привода насоса и смещение.

Гидравлические источники шума включают в себя как переходные процессы, так и нестационарность причин потока: перепады во время запуска и выключения насоса.

Нестационарность потока – это сочетание эффекта пульсаций давления и турбулентности. Пульсации давления зависят от конструкции рабочего колеса, диффузора, рабочих параметров и расстояния между рабочим колесом и улиткой. Турбулентность вызывает вихри и турбулентные потоки в зазоре между концами лопастей рабочего колеса и диффузором. Пульсации давления, создаваемые таким образом, воздействуют на рабочее колесо и приводят к вибрациям вала и шуму в широком диапазоне частот. Кроме того, шум, создаваемый кавитацией насоса, зависит от температуры жидкости – в диапазоне от 80 до 280 °С.

В случае кавитации при перекачке продукта генерируется случайная высокочастотная широкополосная волна, которая иногда накладывается на гармоники частоты прохождения лопасти, причем кавитационный шум имеет характерный потрескивающий или шипящий шум [3].

Акустические измерения в слышимом диапазоне редко используются в качестве инженерного метода, поскольку общий уровень шума зависит от конструкции и типа насоса, установки, механических вспомогательных устройств, условий эксплуатации и силы кавитации.

Использование шумового спектра для обнаружения кавитации в насосах хорошо известно, но оно ограничено высокочастотным диапазоном ультразвука (выше 20 кГц), в то время как шум измеряется внутри насоса. В диапазоне слышимых частот (от 20 Гц до 20 кГц) исследования кавитационного шума все еще находятся в стадии разработки.

При исследовании звуковых спектров в измеренном диапазоне частот (10000 Гц) он определяется для дискретных частот  $RF = 47,5$  Гц и  $VPF = 285$  Гц и его второй, третьей и четвертой гармоник 570 Гц, 855 Гц, и 1140 Гц соответственно; На этих дискретных частотах не наблюдается больших изменений шумового сигнала для условий кавитации и некавитации.

Кроме того, для дискретной частоты 147 Гц, которая упоминается в обзоре как характеристика кавитации, на этой частоте не наблюдается значительных колебаний шумового сигнала. Единственный очевидный результат заключается в том, что; возникновение кавитации приводит к появлению сигналов высокой энергии на высоких частотах от 1000 до 10000 Гц [4].

Главным вопросом, на который должны ответить исследователи, является следующее: может ли спектр звукового диапазона стать действительным инструментом прогнозирования кавитации.

### **Список использованных источников**

1. Рахматуллин, Ш.И. Исследование особенностей обеспечения и контроля бескавитационной работы магистральных нефтяных насосов / Ш.И. Рахматуллин, А.Г. Гумеров, В.С. Станев, Г.Х. Садуева. // Вестник Башкирского университета, 2004, № 2. – С. 55–58.

2. Рахматуллин, Ш.И. К оценке динамического баланса объемов нефти в трубопроводе с самотечными участками / Ш.И. Рахматуллин, Г.А. Гумерова, В.В. Ванифатова // Трубопроводный транспорт нефти – 2001. – № 2. – С. 24–28.

3. Промысловые трубопроводы / В.Д. Куликов, А.В. Шишнев, А.Е. Яковлев, В.Н. Антипов – Москва: Недра, 1994. – 300 с.

4. Садуева, Г.Х. Контроль утечек в нефтепроводе / Г.Х. Садуева // Мониторинг и безопасность трубопроводных систем. 2005. № 1. – С. 3–4.

**СИСТЕМА  $\text{Co}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  КАК АНАЛОГ РЕАГЕНТА ФЕНТОНА  
В СИНТЕЗЕ ТЕРПЕНОВЫХ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ  
ИЗ АЛЬФА-ПИНЕНА**

Процесс жидкофазного окисления терпеновых углеводородов относят к классу цепных вырожденных реакций. Одним из основных признаков, указывающих на цепной характер процесса является применение инициаторов, которые в условиях окисления способны распадаться на свободные радикалы. В качестве инициаторов окисления чаще всего выступают кислород, озон, перекиси и гидроперекиси, различные азосоединения, металлы переменной валентности и др. [1, 2].

Особое внимание уделяется катализаторам на основе металлов переменной валентности, поскольку из-за их валентного состояния они способны присоединять или же отдавать электрон валентно-насыщенной частице, что приводит к образованию свободных радикалов. В литературе приводится большое количество данных об использовании солей кобальта (II) в качестве катализаторов для жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена, при котором выход терпеновых кислородсодержащих соединений (эпоксид  $\alpha$ -пинена, вербенон, вербенол, пинен-3-ол-2) составляет не более 30–40% [3–6]. Стоит отметить, что применение других солей металлов, кроме Pt и Pd, приводит к выходу ТКС не более 20%.

Ранее нами исследован и оптимизирован процесс жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха с использованием стеарата кобальта (II) [7]. Однако существенным недостатком кобальтовых катализаторов, участвующих в окислении терпеновых углеводородов является повышенное смолообразование, вследствие чего наблюдается снижение выхода кислородсодержащих продуктов. При этом соотношение мономеров (продукты, получаемые после паровой дистилляции оксидата, включающие исходный углеводород и ТКС) и полимеров, как правило составляет 1,0 : 0,4. Данная проблема привела нас к поиску такой системы катализаторов, которая позволит увеличить количество свободных радикалов, и как следствие увеличить содержание ТКС и уменьшить образование полимеров. Поэтому поиск таких систем является актуальной задачей в настоящих исследованиях.

Одним из реагентов, генерирующих свободные радикалы является пероксид водорода, при разложении которого происходит образование



свободных гидроксильных радикалов. Использование аналога ( $\text{Co}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) известной системы Фентона ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) в процессе жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха может привести к увеличению количества свободных радикалов, которые будут участвовать в образовании целевых продуктов, тем самым повышая их содержание в смеси. В данном случае инициатором выступает пероксид водорода, а катализатором его разложения соли кобальта (II).

Ранее жидкофазное окисление  $\alpha$ -пинена с использованием данной системы проводили при температуре 60–65°C, расходе воздуха 600–800 мл/мин, продолжительности процесса 5 ч, при концентрациях водного раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  – 14, 18, 22, 35%. В таблице 1 представлены данные хроматографического анализа [8].

**Таблица 1 – Динамика накопление ТКС и конверсии  $\alpha$ -пинена при жидкофазном окислении кислородом воздуха в присутствии  $\text{Co}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$**

Наименование компонента	Продолжительность процесса, ч					
	0	1	2	3	4	5
	Содержание, %					
<i><math>\alpha</math>-пинен+стеарат кобальта (II)/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math> (14%-ный водный раствор)</i>						
$\alpha$ -Пинен	98,0	96,1	90,3	84,6	79,9	76,3
$\sum_{\text{ТКС}}$ (по вербенолу и вербенону)	–	1,4	7,9	12,5	15,2	17,9
<i><math>\alpha</math>-пинен+стеарат кобальта (II)/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math> (18%-ный водный раствор)</i>						
$\alpha$ -Пинен	98,0	89,6	80,0	74,2	68,3	63,9
$\sum_{\text{ТКС}}$ (по вербенолу и вербенону)	–	7,6	16,5	20,2	25,3	28,4
<i><math>\alpha</math>-пинен+стеарат кобальта (II)/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math> (22%-ный водный раствор)</i>						
$\alpha$ -Пинен	98,0	89,9	84,5	80,2	79,3	78,1
$\sum_{\text{ТКС}}$ (по вербенолу и вербенону)	–	7,0	9,9	11,4	12,0	13,8
<i><math>\alpha</math>-пинен+стеарат кобальта (II)/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math> (35% конц.)</i>						
$\alpha$ -Пинен	98,0	–	–	–	–	85,6
$\sum_{\text{ТКС}}$ (по вербенолу и вербенону)	менее 10%					

По данным хроматографического анализа использование 18%-го водного раствора пероксида водорода в жидкофазном окислении  $\alpha$ -пинена дает наибольшее содержание ТКС равное 28,4%. Однако использование 35% концентрированного раствора пероксида водорода приводит к небольшой селективности процесса, где содержание ТКС не превышает 10%.

Для изучения динамики накопления ТКС в 35% концентрированном растворе пероксида водорода со стеаратом кобальта (II) жидкофазное

окисление  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха проводили в течении 24 ч, при температуре 70–75°C, расходе воздуха 700–750 мл/мин, масса катализатора – 0,4 мас. %, расход инициатора (пероксид водорода) – 25, 50 и 75 мл, объем исходного субстрата – 50 мл. В результате было проведено 3 опыта и определено качественное и количественное содержание ТКС в оксидате. Данные хроматографического анализа представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Динамика накопление ТКС и конверсии  $\alpha$ -пинена при жидкофазном окислении кислородом воздуха в присутствии  $\text{Co}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  (35% концентрированный раствор)**

Наименование компонента	Продолжительность процесса, ч					
	0	5	10	15	20	24
Содержание, %						
<i><math>\alpha</math>-пинен+стеарат кобальта (II)/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math> (35%), количество <math>\text{H}_2\text{O}_2</math> –25 мл</i>						
$\alpha$ -Пинен	98,0	90,9	87,6	85,3	80,5	73,3
$\sum_{\text{ТКС}}$ (по вербенулу и вербенону)	–	0,3	4,1	5,3	7,9	11,8
<i><math>\alpha</math>-пинен+стеарат кобальта (II)/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math> (35%), количество <math>\text{H}_2\text{O}_2</math> –50 мл</i>						
$\alpha$ -Пинен	98,0	90,1	80,1	79,4	77,4	75,4
$\sum_{\text{ТКС}}$ (по вербенулу и вербенону)	–	3,2	4,2	5,1	6,9	11,8
<i><math>\alpha</math>-пинен+стеарат кобальта (II)/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math> (35%), количество <math>\text{H}_2\text{O}_2</math> –75 мл</i>						
$\alpha$ -Пинен	98,0	–	–	–	–	91,8
$\sum_{\text{ТКС}}$ (по вербенулу и вербенону)	менее 1%					

Исходя из таблицы 2 можно сделать вывод о нецелесообразности использования в процессе жидкофазного окисления концентрированного раствора пероксида водорода без участия соразтворителя (например, ацетонитрил). Поскольку при продолжительном окислении содержание ТКС в оксидате не превышает 11%. Последующие исследование жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена будут проводится аналогичным образом с использованием 18%-го раствора пероксида водорода с участием апротонного растворителя необходимого для гомогенизации данной системы с исходным субстратом.

#### **Список использованных источников**

1. Эмануэль Н.М., Заиков Г.Е., Майзус З.К. Роль среды в радикально-цепных реакциях окисления органических соединений. М.: Наука. 1973. 278 с.
2. Эмануэль Н.М., Денисов Е.Т., Майзус З.К. Цепные реакции окисления углеводов в жидкой фазе. М.: Наука, 1965. 375 с.

3. Кислицин А.Н., Каблукова И.Н., Трофимов А.Н. Исследование процесса жидкофазного иницированного окисления сульфатного  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха. Сообщение 2 // Химия растит. сырья. 2003. № 4. С. 31–36.

4. Кислицин А.Н., Каблукова И.Н., Трофимов А.Н. Исследование процесса жидкофазного иницированного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха. Сообщение 1 // Химия растит. сырья. 2003. № 1. С. 53–59.

5. Vecerra J.A., Villa A.L. Thermodynamic analysis of  $\alpha$ -pinene and limonene allylic oxidation over a  $\text{FePcCl}_{16}\text{-NH}_2\text{-SiO}_2$  catalyst // Chemical Engineering Technology. 2018. Vol. 41. No. 1. P. 124–133.

6. Бухаркина Т.В., Вержичинская С.В., Гречишкина О.С., Караджаев М.А. Подготовка этилбензола к воспроизводимому эксперименту по его жидкофазному окислению молекулярным кислородом в присутствии стеарата кобальта // Усп. в химии и хим. техн-и. Т. 30. № 11. 2016. С. 41–43.

7. Сосновская, А.А. Оптимизация процесса жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии стеарата кобальта (II) / А.А. Сосновская, Я.В. Боркина, В.Л. Флейшер // «Известия Национальной Академии Наук Беларуси». Серия химических наук – Минск, 2019. – Т. 55. – № 2. – С. 233–239.

8. Сосновская, А. А. Система  $\text{Co}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  как катализатор жидкофазного окисления альфа-пинена / А. А. Сосновская, В.Л. Флейшер // тез. докл. 83-ой науч. практ. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотrud. и аспиp., Минск, 4–15 февраля 2019 г. / БГТУ; редкол.: И.В. Войтов [и др.]. – Минск, 2019. – С. 18.

УДК 665.775

**Е.И. Грушова, М.В. Станько, М.А. Горошко**  
Белорусский государственный технологический университет

## **ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТРУКТУРИРОВАНИЯ НЕФТЯНГО БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО**

В настоящее время лучшим вяжущим материалом для дорожных покрытий считают битумно-полимерные композиции (БПК), которые получают по схеме, представленной на рисунке 1.

БПК обеспечивает высокие морозостойкость, теплостойкость, адгезионную способность и хорошие пластические свойства. Однако

производство таких материалов существенно повышает стоимость покрытий, имеют место сложности с совмещением полимерного компонента и битумной основы [1].

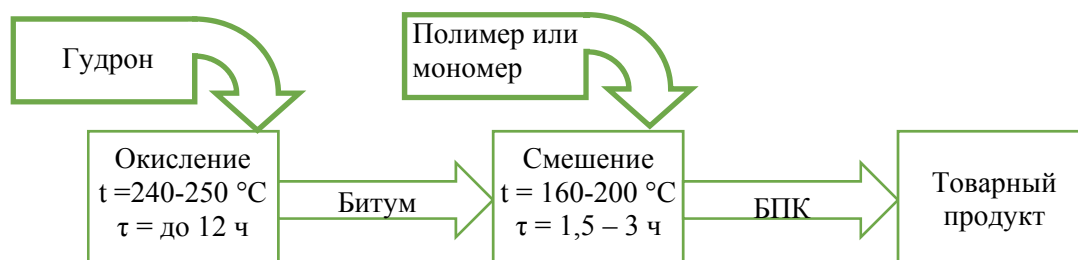
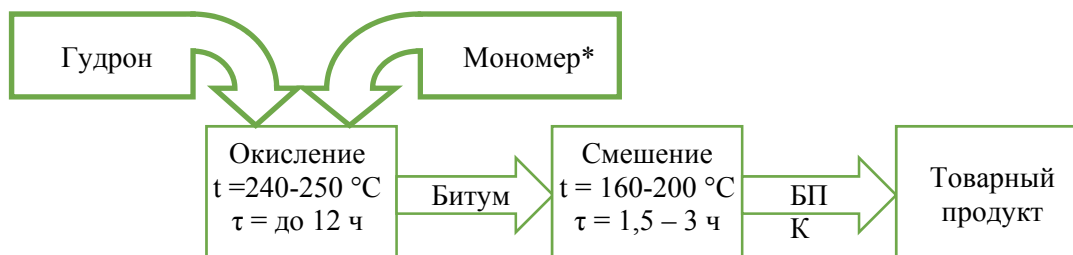


Рис.1 – Существующая схема получения БПК

На кафедре нефтегазопереработки и нефтехимии БГТУ предложен способ получения БПК, позволяющий существенно упростить процесс за счет сокращения затрат на сырьё, энергетических затрат и продолжительности технологического процесса. Для этого синтез БПК следует осуществлять по схеме, представленной на рисунке 2.



\* – этиленгликоль (ЭГ), или пентаэритрит (ПЭ) или их смесь 50/50

Рис. 2 – Предлагаемая технология получения БПК

В таблице представлены данные, характеризующие предлагаемую технологию получения БПК.

Согласно данным, представленным в таблице, введение в гудрон мономеров интенсифицирует процесс окисления, так как в результате существенно возрастает доля дисперсной фазы в дисперсной системе (с 0,23 до 0,34).

Для сопоставления известной и предлагаемой технологий было исследовано влияние смеси мономеров – модификатора на температуру размягчения вяжущего, полученного гомогенизацией окисленного битума с добавкой модификатора:

состав вяжущего	$t_{разм}$
битумное вяжущее	41,4

битумное вяжущее 42,0  
(по известной технологии)

битумное вяжущее 42,5  
(по предлагаемой технологии)

**Таблица – Свойства получаемого по предлагаемой технологии продукта**

Сырье	Температура размягчения по КиШ, °С	Пенетрация при 25 °С, ×0,1 мм	Интервал пластичности, °С	Групповой состав				$\frac{СБС + А}{М + БС}^*$
				М	БС	СБС	А	
Нефтяной гудрон	31,8	332,8	84,7	71,99	9,34	4,69	13,98	0,23
Нефтяной гудрон + 1 мас. % ЭГ	33,1	364,6	72,4	65,82	16,37	4,5	13,31	0,22
Нефтяной гудрон + 1 мас. % ЭГ/ПЭ (50/50)	34,4	330	71,05	67,62	11,61	5,19	15,58	0,26
Нефтяной гудрон + 1 мас. % ПЭ	39,7	232,4	65,7	64,25	10,58	5,42	19,75	0,34

М – масла, БС – бензолные смолы, СБС – спиртобензолные смолы, А – асфальтены

\* – отношение содержания дисперсионной фазы к дисперсной среде

Согласно приведенным результатам испытаний структурирование вяжущего происходит интенсивнее в том случае, если гудрон подвергается окислению совместно с мономером – модификатором.

#### **Список использованных источников**

1. Галкин, А. В. Влияние параметров совмещения на свойства битумов, модифицированных стирол-бутадиен-стиролом / А. В. Галкин, Я. И. Пыриг // Вестник ХНАДУ. – 2014. – Вып.04. – С. 115–120.

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ  
АВТОПОЕЗДОВ-СОРТИМЕНТОВОЗОВ С  
ГИДРОМАНИПУЛЯТОРАМИ  
ПРИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТАХ**

В целях повышения эффективности погрузочно-разгрузочных работ в лесном комплексе находят применение лесные машины с манипуляторами, обладающими большой подвижностью и независимостью передвижения в пределах одной лесозаготовочной площадки при сортиментной вывозке древесины.

Изучение транспортных средств российского изготовления свидетельствует, что для компоновки лесовозных автопоездов-сортиментовозов в основном используются: полноприводные Урал-43202, КамАЗ-43105, Урал-44202; неполноприводные КамАЗ-53212, КамАЗ-54112. Автомобили Урал-43202, КамАЗ-53212 и КамАЗ-43105 оборудованы грузовой платформой. При установке на них гидравлического манипулятора следует изменить длину надрамника, длина платформы тоже изменится.

При выполнении лесных работ с применением российских манипуляторов чаще всего используются манипуляторы Майкопского, Великолукского, Соломбальского машиностроительных заводов, а также Софринского экспериментального механического завода. Из иностранных наиболее часто используются бортовые манипуляторы шведских, финских, германских, итальянских, австрийских, американских и канадских фирм.

Гидроманипулятор имеет ряд необходимых параметров, а именно: максимальный вылет, грузовой момент, момент поворота. Также, компоновочно-кинематическая схема манипулятора на лесной машине определяется параметрами базового транспортного средства: высотой платформы, на которую размещается опорно-поворотное устройство; грузоподъемностью; размерами монтажной площадки автомобиля; высотой кабины.

При работе транспортного средства с манипулятором в затруднительных для выполнения работ окружающих условиях равновесие уменьшается в связи с креном платформы и проседания грунта под

аутригерами (выносными гидравлическими цилиндрами). Также на устойчивость лесотранспортной машины с манипулятором воздействуют возникающие при подъеме и опускании груза силы инерции, в том числе при вращении поворотной части манипулятора. Устойчивость, а точнее ее коэффициент, в том числе с расчетом всех воздействующих факторов, должен быть увеличен на 1,55 [1].

Перечисленным выше параметрам коэффициента устойчивости должны удовлетворять подсчеты, осуществленные при размещении стрелы манипулятора перпендикулярно к продольной плоскости автомобиля, т.е. в условиях наименьшего равновесия. Чтобы снизить дополнительные нагрузки, уменьшающие равновесие автомобиля при работе на неровностях, аутригеры необходимо устанавливать так, чтобы не превышался указанный в его паспорте угол наклона транспортного средства.

Кроме перечисленных характеристик, транспортное средство с установленным на него манипулятором должно обеспечивать одно из наиболее важных условий при подготовке и в процессе работы, а именно быстрое выравнивание опорной платформы транспортного средства с помощью двух опорных устройств – аутригеров.

Во время выполнения работ угол наклона – плоскость рамы автомобиля относительно горизонта не должен быть выше предельного значения. В этих условиях, оператору надо с высокой периодичностью останавливать технологический процесс и вручную корректировать положение платформы, это в свою очередь приводит к простоям, снижению качественных показателей производительности труда и, как следствие, повышению затрат на выполнение работ [2].

Используемые в настоящее время системы выравнивания в горизонте рам, т.е. платформ лесных машин осуществляются с помощью гидрозолотников вручную, а именно производится выдвижение гидравлических цилиндров [2]. Указанные системы имеют недостатки: большие промежутки времени, затрачиваемые на подготовку манипулятора к работе, а также, отсутствие возможности автоматически производить выравнивание в плоскости горизонта платформы автомобиля. Оператор не имеет возможности вручную управлять сразу тремя или четырьмя опорами, он вынужден устранять крен сначала в продольном направлении относительно опорного контура платформы, а затем в поперечном направлении. При этом возможно неравномерное нагружение опор, а также возникновение ситуации выдвижения штоков на максимальную длину, либо касания колесами машины опорной поверхности. На наш взгляд, применение автоматических выравнива-

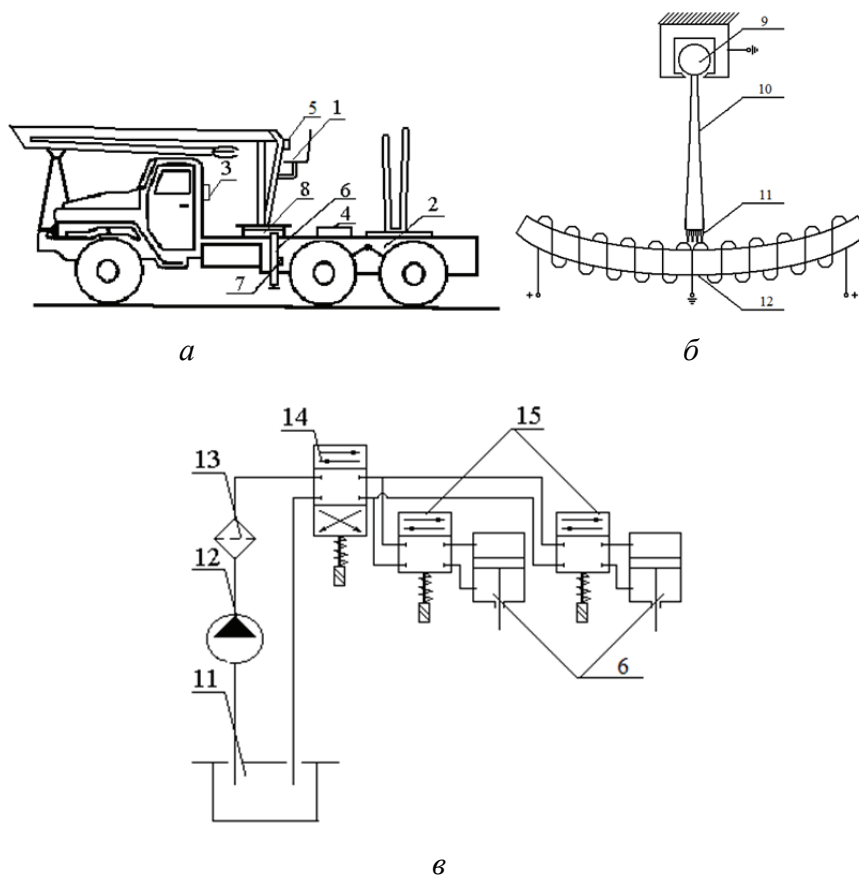
телей платформ гидроманипуляторов автосортиментовозов позволит увеличить производительность и снизить безопасность погрузочно-разгрузочных работ в лесном комплексе.

На рис. 1а представлена общая схема лесотранспортной машины, оборудованной креново-тангажным устройством автоматического выравнивания опорной платформы подъемных механизмов, на которой показаны рабочее место оператора манипулятора 1, передвижное шасси 2, блок управления 3, креново-тангажные отвесные датчики 4, сориентированные в продольной и поперечной плоскостях платформы, панель 5, управления гидроцилиндрами аутригеров 6, датчики 7 контакта штоков гидроцилиндров аутригеров с опорной поверхностью, поворотная платформа 8 [3]. На рис.1б представлен отвесный датчик, включающий следующие элементы: шаровый подвес 9, отвес 10, контактный узел (например, щеточный, роликовый и т.д.) 11, реостатную линейку 12. На рис.1в представлена принципиальная гидравлическая схема креново-тангажного отвесного устройства автоматического выравнивания опорной платформы подъемных механизмов, включающая следующие элементы: выносные гидравлические цилиндры 6, гидравлический бак 11, насос 12, фильтр 13, трехпозиционный электромагнитный клапан 14, и двухпозиционные электромагнитные клапаны 15.

Оператор сначала переводит тумблер на пульте управления 5 в положение выдвижения штоков гидроцилиндров 6, до момента их касания с опорной поверхностью. При срабатывании датчиков 7 касания с опорной поверхностью сигнал поступает в блок управления 3, который включает автоматический выравниватель лесотранспортной машины. Выравнивание опорной платформы (передвижного шасси) 2 происходит по сигналам отвесных датчиков, сориентированных в продольной и поперечной плоскостях платформы за счет изменения тока в цепи реостатной обмотки, которое влияет на изменение положения штоков.

Следующим этапом исследования является создание имитационной модели автомобильного манипулятора являющейся аналогом существующей конструкции. Для этого необходимо разработать 3D-модель манипулятора в среде САПР SolidWorks. На ее базе создать имитационную модель манипулятора, реализованного в САЕ-приложении SOLIDWORKS Motion и провести исследование устойчивости агрегата в разнообразных рабочих режимах (работа без аутригеров, с установленными аутригирами и т.п.), в том числе с учетом свойств опорных поверхностей [4].





**Рис. 1 – Общая схема лесотранспортной машины, оборудованной креново-тангажным устройством автоматического выравнивания опорной платформы подъемных механизмов (а), отвесный датчик (б), принципиальная гидравлическая схема автоматического выравнивателя (в).**

Одним из положительных моментов является то, что изготовление устройств автоматического выравнивателя лесотранспортной машины может производиться из узлов и агрегатов, серийно выпускаемых промышленностью. Применение новых конструкций автоматических выравнивателей платформ транспортных средств позволит увеличить производительность и снизить опасность погрузочно-разгрузочных работ в лесном комплексе.

#### **Список использованных источников**

1. Коваленко, М.А. Грузоподъемные машины [Текст] / М.А. Коваленко. – Воронеж, 1978. – 130 с.
2. Щербаков, В.С. Определение значений управляемых координат автокрана по известным координатам груза [Текст] / В. С. Щербаков, М. С. Корытов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 2 (10). – С. 176–192.

3. Пат. № 2340543 РФ, МПК В66С 23/78. Креново-тангажное от-весное устройство автоматического выравнивания опорной платфор-мы подъемных механизмов [Текст] / А.В. Великанов, П.В. Танчук, П.И. Иванищев, В.А. Нилов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Воронежское ВВАИУ». – № 2007114657/11; заявл. 18.04.2007; опубл.10.12.2008, Бюл. № 34 – 5 с.

4. Бухтояров, Л. Д. Исследование автоматизированного привода управления ручными гидрораспределителями манипулятора [Текст] / Л. Д. Бухтояров, М. Н. Лысыч, Я. А. Туров-ский // Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6, № 4 (24). – С. 194–201.

УДК 674.812

**Е.В. Чесновский, И.Г. Федосенко**  
Белорусский государственный технологический университет

## **МЕТОДЫ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

На срок службы строительных конструкций большое влияние оказывает качество материала, из которого они изготовлены. В процессе эксплуатации строительных конструкций происходит «старение строительного материала», постоянное накопление дефектов и повреждений элементов конструкции, снижение первоначальных значений свойств материалов: физико-механических, химических, теплофизи-ческих, акустических, магнитоэлектрических.

Для контроля и оценки свойств строительных материалов из дре-весины существуют разрушающие и неразрушающие методы, кото-рые способствуют определению физико-механических свойств мате-риалов конструкции.

Для оценки состояния археологической древесины могут приме-няться методы дефектоскопии.

К неразрушающим методам можно отнести:

- визуальный метод;
- оптический метод;
- метод нанесения лаков;
- метод нанесения окрашивающих жидкостей;
- метод обдувания сжатым воздухом;
- радиационный (рентгеновский);

- ультразвуковой метод (эхо-метод).
  - метод акустической эмиссии.
- К разрушающим методам можно отнести:
- метод ударного импульса;
  - метод упругого отскока;
  - метод пластической деформации.

Оценка состояния археологической древесины имеет особенную важность при выяснении несущей способности зданий и разработке защитных мероприятий. Такая древесина обычно оценивается неразрушающими методами, например, по плотности и твердости. Оценка плотности прямым способом требует взвешивания деревянного образца, что невозможно без повреждения строительной конструкции здания. Твердость древесины не дает общей картины и имеет очень сильный разброс значений, в виду непостоянства состояния поверхности древесины, бывшей в эксплуатации.

Наиболее мобильным сегодня является способ определения свойств археологической древесины по ее акустическим свойствам. Создать звуковую волну можно, получив доступ даже к небольшому участку поверхности элемента из археологической древесины, однако необходимо иметь сведения о положении элемента в конструкции и его протяженности. При этом более предпочтительным оказывается способ определения проходимости ультразвуковых волн через материал. Высокочастотные колебания не требуют разрушения материала, а значит могут быть использованы для диагностики археологической древесины.

Для выяснения зависимости основных физико-механических показателей древесины, от скорости прохождения через нее звука использовался измерительный прибор Пульсар-2.1. Были проведены испытания на поперечный изгиб, для расчета модуля упругости [1] и предела прочности [2]. Реальная влажность каждого образца была определена при помощи весового метода, а плотность [3] по ГОСТ 16483.1-84.

По полученным данным, установлены зависимости скорости распространения звука от плотности и влажности древесины сосны, ели и березы [5].

Пользуясь этими зависимостями, легко оценить значение одного из трех входящих в уравнение показателей (скорости звука, плотности и абсолютной влажности древесины).

Также получены графические зависимости предела прочности и модуля упругости от скорости распространения ультразвука в продольном волокнам направлении [4].

Получены уравнения регрессионной зависимости предела прочности, модуля упругости и плотности от скорости распространения ультразвука в продольном волокнах направлении, для древесины сосны, ели и березы [5].

Полученные модели, связывающие физико-механические свойства со скоростью ультразвука, пропущенного через структуру древесины, позволяют оценивать неразрушающим способом со значительной точностью состояние древесины и планировать мероприятия по консолидации материала, укреплению конструкции или замене утратившего несущую способность элемента.

Полученные данные использованы и проверены при оценке качества археологической древесины.

Для того, чтобы оценить влияние пористости древесины, включая пустоты и трещины, была построена зависимость суммарной толщины трещин ( $S$ ), от отношения скорости распространения звука ( $V_L/V_T$ ) в продольном и поперечном направлении.

По зависимости установлено, что отношение скорости звука, прошедшего вдоль волокон к скорости звука, прошедшего поперек волокон имеет нелинейную связь с шириной трещин, т.е. с пористостью структуры деревянного элемента.

В результате по установленной зависимости  $S = F\left(\frac{V_L}{V_T}\right)$ , можно оценить пористость структуры, вносимую трещинами. Образцы древесины сосны разделены на следующие классы:

- сильноразрушенные –  $(V_L/V_T) > 7,7$ ;
- среднеразрушенные –  $(V_L/V_T) > 5,6 - 7,6$ ;
- незначительно разрушенные –  $(V_L/V_T) < 5,5$ ;
- здоровая древесина –  $(V_L/V_T) < 4$ .

Следовательно, степень разрушения потрескавшихся бревен можно определить по соотношению скоростей ( $V_L/V_T$ ).

Установив такие параметры, как базисную плотность ( $\rho_b$ ) и суммарную ширину трещин ( $S$ ) можно рассчитать степень деградации для древесины по базисной плотности ( $C_{д. \rho_b}$ ), %, и трещиноватости ( $C_{д. т.}$ ), %, по следующим формулам:

$$C_{д. \rho_b} = \frac{\rho_{б. \text{этал.}} - \rho_{б. \text{арх.}}}{\rho_{б. \text{этал.}}} \cdot 100\% ;$$

$$C_{д. т.} = \frac{S_{\Sigma}}{L_{\text{баз.}}} \cdot 100\% ;$$

где  $C_{д.рб}$  – степень деградации древесины сосны по базисной плотности, %;  $C_{д.т}$  – степень деградации древесины сосны по трещиноватости, %;  $\rho_{б.этал.}$  – базисная плотность эталонной древесины сосны, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{б.арх.}$  – базисная плотность археологической древесины сосны, кг/м<sup>3</sup>;  $L_{баз.}$  – длина базы измерения прибора, мм;  $S_{\Sigma}$  – суммарная ширина трещи на измеряемом участке  $L_{баз.}$  мм.

По полученным результатам можно предложить классификацию древесины сосны, по степени деградации в зависимости от плотности и трещиноватости (пористости).

Степень деградации объекта будет оцениваться, по уменьшению плотности археологической древесины, в сравнении с плотностью здоровой древесины той же породы:

- уменьшение плотности от 0 до 20% – I класс деградации;
- уменьшение плотности от 20 до 25% – II класс деградации;
- уменьшение плотности от 25 до 33% – III класс деградации;
- уменьшение плотности от 33 до 47% – IV класс деградации;
- уменьшение плотности выше 47% – V класс деградации.

Степень деградации объекта по трещиноватости будет оцениваться, по увеличению суммарной ширины трещин на измеряемом участке археологической древесины:

- увеличение ширины трещин от 0 до 3% – I класс деградации;
- увеличение ширины трещин от 3 до 4% – II класс деградации;
- увеличение ширины трещин от 4 до 5% – III класс деградации;
- увеличение ширины трещин от 5 до 9% – IV класс деградации;
- увеличение ширины трещин выше 9% – V класс деградации.

Таким образом, при принятии решений по реставрации объекта для классов I и II, достаточно использовать огне- и биозащитные составы. Для классов III, IV, V необходимо укреплять структуру, т.е. использовать полимерные составы.

### **Список использованных источников**

1. Древесина. Метод определения модуля упругости при статическом изгибе: ГОСТ 16483.9-73. Введ. 01.07.74. М.: Издательство стандартов, 1999. 7 с.

2. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе: ГОСТ 16483.3-84. Введ. 01.07.85. М.: Издательство стандартов, 1999. 7 с.

3. Пауль Э. Э., Кухта В. Н. Зависимость механических свойств древесины от ее плотности // Лесное и охотничье хозяйство. 2011. № 10. С. 20–23.

4. Федосенко И. Г., Чесновский Е. В., Мазаник Н. В. Разработка неразрушающего метода оценки состояния древесины конструкций исторических памятников // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2017. № 2. С. 273–278.

5. Федосенко И. Г., Чесновский Е. В. Применение эхо-метода для прогнозирования качественных характеристик древесины основных строительных пород // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесная и деревообрабатывающая промышленность, 2019. № 2. С. 238–241.

УДК 646.31:666.3

**А.Н. Шиманская, А.Д. Подсосонная, Д.А. Байгазин**  
Белорусский государственный технологический университет

### **КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ**

Как известно, в настоящее время при производстве технической керамики существуют проблемы, связанные с отсутствием универсальных методов получения сложнопрофильных изделий. Традиционными способами сформовать подобных изделия проблематично. Использование литья для получения керамических биоматериалов позволяет получать имплантаты индивидуально для каждого пациента, а также существенно сократить сроки их изготовления.

В связи с этим целью настоящего исследования является разработка технологических параметров получения керамических материалов медицинского назначения на основе гидроксиапатита (ГА) методом литья. Как известно, именно кальций фосфатная керамика является предпочтительной в решении большинства задач восстановительной медицины, где требуется надежная биоинтеграция имплантата в биологическую кость [1]. В качестве связующих для литья использовались растворы полисахаридов – желатина и агар-агара, находящие широкое применение в технологических процессах во многих отраслях промышленности. Данные биополимеры желатинизируются при охлаждении, обеспечивая мгновенное затвердевание изделий, возможность получения как плотных, так и пористых изделий сложной формы, обладающих однородной микроструктурой [2, 3].

Для синтеза ГА применялся жидкофазный метод, описанный авторами [4]. Исследования гранулометрического состава синтезированного

ГА на лазерном измерителе ANALYSETTE 22 MicroTec (Fritsch GmbH, Германия) показали наличие частиц размером от 0,25–35 мкм, преобладающая фракция – 10–20 мкм.

На первом этапе исследования шликер для литья изделий готовился следующим образом: в дистиллированной воде, нагретой до 60 С, растворялся желатин. Затем к раствору добавлялось необходимое количество гидроксиапатита при тщательном перемешивании. Соотношение ГА : желатин составляло 1 : 1; 1,5 : 1; 2 : 1; 2,5 : 1 и 3 : 1. После достижения однородности изучалась текучесть полученной суспензии с помощью вискозиметра Энглера (таблица 1).

**Таблица 1 – Текучесть приготовленных шликеров**

Соотношение ГА : желатин	1 : 1	1,5 : 1	2 : 1	2,5 : 1	3 : 1
Среднее время истечения, с	8,8	10,3	10,7	11,1	15,0

Шликеры с различными соотношениями ГА : желатин заливались в пластмассовые формы и замораживались, затем образцы извлекались, сушились в естественных условиях и обжигались при температурах 1150 и 1200 °С.

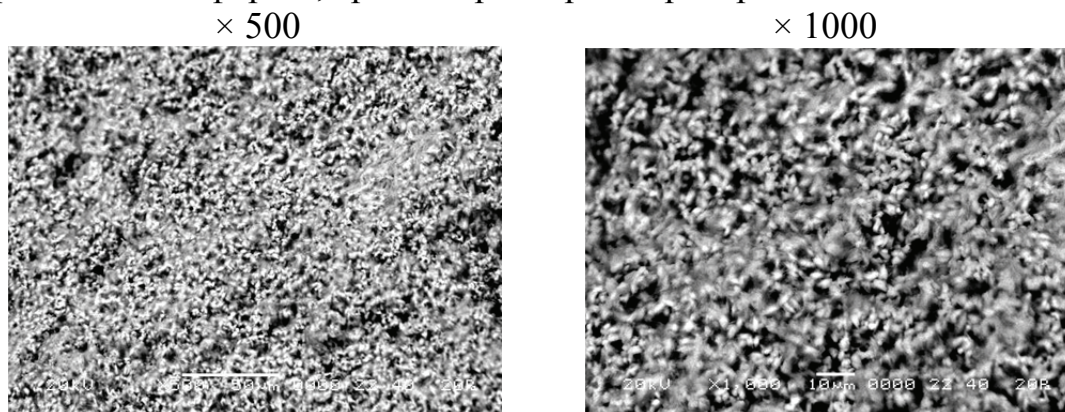
Полученные материалы характеризовались равномерной окраской белого цвета. Текстура образцов на изломе пористая, хорошо спеченная. Определение физико-химических свойств и общей усадки изделий проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 40711–94, ГОСТ 2409–2014 и ГОСТ 30534–97, их значения приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Общая усадка и физико-химические свойства ГА-керамики**

Соотношение ГА: желатин	Температура обжига, °С	Общая усадка, %	Водопоглощение, %	Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	Открытая пористость, %	Механическая прочность при сжатии, МПа
1 : 1	1150	55,62	48,82	1198,98	58,82	2,9
	1200	54,44	45,21	1189,92	53,85	3,3
1,5 : 1	1150	42,11	43,33	1301,74	56,52	1,0
	1200	43,49	43,45	1490,88	51,47	2,0
2 : 1	1150	37,87	41,86	1300,42	54,55	1,0
	1200	39,05	40,45	1311,10	53,14	2,1
2,5 : 1	1150	36,09	40,78	1397,20	54,29	1,5
	1200	36,39	40,51	1312,97	53,31	3,1
3 : 1	1150	31,95	42,86	1270,18	54,55	2,9
	1200	32,84	42,48	1217,78	53,79	3,3

Следует отметить, что показатели физико-химических свойств полученных изделий не зависят от соотношения ГА : желатин, что объясняется процессом синерезиса. Синерезис – самопроизвольное уменьшение объема гелей, сопровождающееся отделением жидкости. Синерезис происходит в результате уплотнения пространственной структурной сетки, образованной в гелях частицами дисперсной фазы. Структурированная система при синерезисе переходит в термодинамически более устойчивое состояние [5].

С помощью электронной микроскопии (JSM-5610 LV с системой EDX JED-2201 JEOL, Япония) установлено, что материал, полученный при соотношении ГА : желатин – 3 : 1 и обожженный при температуре 1200 °С, характеризуется присутствием значительного количества пор различной конфигурации, размер которых составляет от 2 до 13 мкм (рисунок 1). Кристаллическая фаза представлена зернами произвольной формы, средний размер которых равен 2–5 мкм.



**Рис. 1 – Электронно-микроскопические снимки биоматериала с соотношением ГА : желатин – 3 : 1 (Т<sub>обж</sub> –1200 °С)**

На втором этапе исследования в качестве связующей добавки для литья изделий использовался агар-агар. Получение образцов ГА-керамики проводилось аналогичным способом. Соотношение ГА: агар-агар в приготовленных суспензиях составляло 5,7 : 1; 8,6 : 1; 11,4 : 1; 14,3 : 1 и 17,1 : 1. Значения текучести полученных суспензий приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Текучесть шликера, приготовленного с использованием агар-агара**

Соотношение ГА: агар-агар	5,7 : 1	8,6 : 1	11,4 : 1	14,3 : 1	17,1 : 1
Текучесть, с	3,5	3,8	4,2	5,8	26,0

Пористой, хорошо спеченной структурой обладают только образцы, синтезированные из суспензии с соотношением ГА : агар-агар –

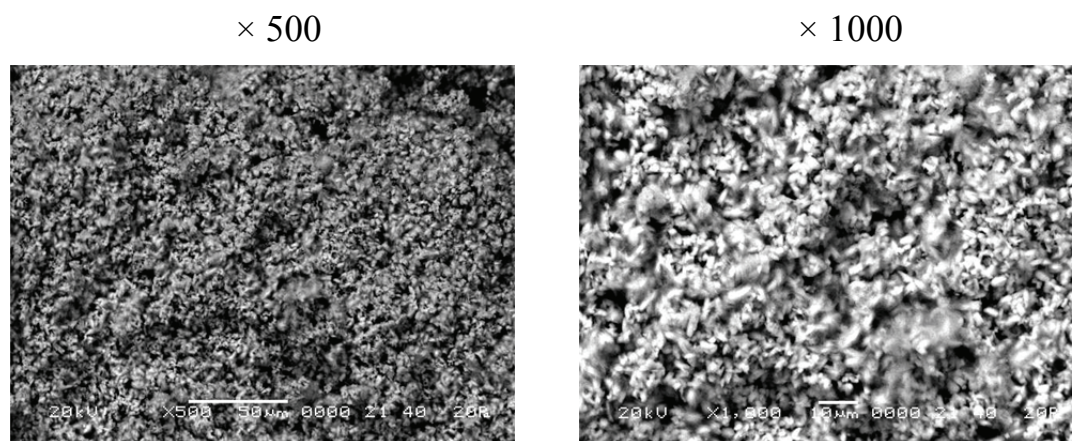


17,1 : 1. Остальные изделия рассыпались при соприкосновении, ввиду малой механической прочности. Результаты определения физико-химических свойств данного образца приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Общая усадка и физико-химические свойства ГА-керамики (соотношение ГА : агар-агар – 17,1 : 1)**

Температура обжига, °С	Общая усадка, %	Водопоглощение, %	Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	Открытая пористость, %	Механическая прочность при сжатии, МПа
1100	27,53	75,95	882,83	67,01	0,73
1150	29,99	53,73	1116,65	59,98	1,02
1200	31,04	54,72	1065,46	58,28	2,97

Синтезированный материал обладает высокопористой структурой. Размер пор образца находится в пределах от 3 до 150 мкм (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Электронно-микроскопические снимки биоматериала с соотношением ГА : агар-агар – 17,1 : 1 (Т<sub>обж</sub> – 1200 °С)**

Как видно из таблиц 2 и 4, образцы ГА-керамики, полученные с помощью литья с использованием агар-агара в качестве связующего, характеризуются меньшими показателями общей усадки, большей пористостью, водопоглощением по сравнению с изделиями, отлитыми из суспензий, содержащих желатин. По нашему мнению, это объясняется менее выраженным эффектом синерезиса в образцах, содержащих агар-агар.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность использования растворов полисахаридов для литья ГА-керамики сложной геометрической формы.

#### **Список использованных источников**

1. Hench, L. L. Bioceramics / L.L. Hench //Journal of the American Ceramic Society. – 1998. – Vol. 81, iss. 7. – P. 1705–1728.

2. Скрипова, П. Н. Гелевое литье керамических материалов / П. Н. Скрипова, Л. Д. Сиротенко // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – № 1. – С. 117–119.

3. Huang, Y. Study of gel-tape-casting process of ceramic materials / Y. Huang, J. Xing, Z. Xie // Materials science & engineering. – 2002. – Vol. 323, iss. 1–2. – P. 336–341.

4. Синтез гидроксиапатита для биоактивных материалов / Н. Е. Торопков [и др.] // Новые технологии создания и применения биокерамики в восстановительной медицине: материалы IV Международной научно-практической конференции, 13–15 октября 2016 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – С. 130–134.

5. Колмаков, К. М. Химия поверхностных явлений (коллоидная химия): учеб.-метод. пособие / К. М. Колмаков. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2017. – 322 с.

УДК 678678.675

**С.И. Вольфсон, И.З. Файзуллин, Т.В. Щербакова,  
З.М. Бадретдинов, Д.Р. Хафизова**

Казанский национальный исследовательский  
технологический университет

### **РАЗРАБОТКА СТЕКЛОПОЛНЕННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КАРБОЦЕПНЫХ КАУЧУКОВ**

Одной из главных задач развития полимерных композиционных материалов является улучшение их характеристик. При этом необходимо добиться максимальной производительности, снижения энергозатрат и себестоимости продукции. Для этих целей могут использоваться различные методы, например, добавление в состав специальных наполнителей.

Современное машиностроение широко использует различные эластомерные композиции, в основном это резины, работающие в широком интервале скоростей скольжения, температур и давлений. Для использования резин в антифрикционных целях наиболее важна их высокая износостойкость, характеризующаяся низкой истираемостью и коэффициентом трения.

В этой связи, целью работы явилось исследование влияния полых стеклосфер в составе композиционного материала на основе карбоцепных

каучуков на физико-механические и эксплуатационные свойства, а также уменьшение плотности и, соответственно, веса готового изделия за счет их добавления [1].

Полые стеклосферы широко применяются в качестве наполнителя в составе различных материалов и покрытий. Характерные области их использования – строительная отрасль (звукоизоляционные и композиционные материалы), судо- и авиастроение (облегченные конструктивные материалы), лакокрасочная промышленность (наполнители и добавки), нефтегазовая (буровые растворы и тампонажные цементы). Также стеклосферы используют как самостоятельный материал для хранения различных веществ, например, газов или медикаментов [2]. Размер стеклосфер составляет от 5 до 200 мкм. Насыпная плотность варьируется в пределах 80–700 кг/м<sup>3</sup>, прочность зависит от способа их получения, толщины стенок и плотности, наибольшая достигается при размере порядка 30–40 мкм [3]. Применение материала обусловлено уникальным сочетанием физических свойств: сферическая форма, маленькая толщина стенок, низкая плотность, хорошие тепло- и звукоизоляционные, а также диэлектрические свойства.

Химическая стойкость полых стеклосфер делает их совместимыми с большинством полимеров [4]. Идеальная сферическая форма стеклосфер улучшает текучесть материалов, обеспечивает лучшее распределение по форме и эффективное заполнение объема частицами, уменьшает усадку [5].

Модифицирование существующих каучуков и резин является современным направлением получения эластомерных композиций с требуемыми свойствами. В качестве эластомерной фазы в работе были использованы каучуки, применяемые для изготовления резинотехнических изделий: изопреновый СКИ-3, бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРКМ-15 и бутадиен-нитрильный БНКС-40АМН. В качестве наполнителя использовался технический углерод (ТУ) марки П-324. В качестве модификатора-наполнителя для повышения износоустойчивости, а именно снижения истираемости и коэффициента трения по абразивной и металлической поверхности, были использованы полые стеклосферы марки 3M<sup>TM</sup> Glass Bubbles iM16K с размером частиц 20 мкм в составе указанных композиций с массовым содержанием 10, 20, 40 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука.

Резиновые смеси получали на смесительном оборудовании фирмы Brabender «Plasti-Corder®Lab-Station» при температуре 70° и скорости вращения роторов 60 об/мин.

Были проведены испытания по определению плотности (ГОСТ 15139-69), твердости (ГОСТ 263-75), прочности при разрыве

(ГОСТ 270-75), эластичности по отскоку (ГОСТ 27110-86) и сопротивления резин истиранию (ГОСТ 426-77).

По данным физико-механических свойств видно (табл.1), что у всех композиций при введении 20 мас.ч стеклосфер наблюдается увеличение относительного удлинения при разрыве и эластичности по отскоку, связанное, по всей видимости, с повышением молекулярной подвижности цепей каучука. При этом прочностные свойства снижаются, что связано с недостаточным взаимодействием наполнителя с каучуком. Увеличение дозировки стеклосфер до 40 мас.ч в резиновых смесях на основе СКИ-3 повышает эластичные свойства композиций. Однако в композициях на основе СКМС-30 и БНКС-40 эти показатели заметно падают с одновременным снижением прочностных свойств вулканизатов.

Использование полых стеклосфер, по сравнению с другими (традиционными) облегчающими добавками, способствует получению композиций с более низкой плотностью (рис.1).

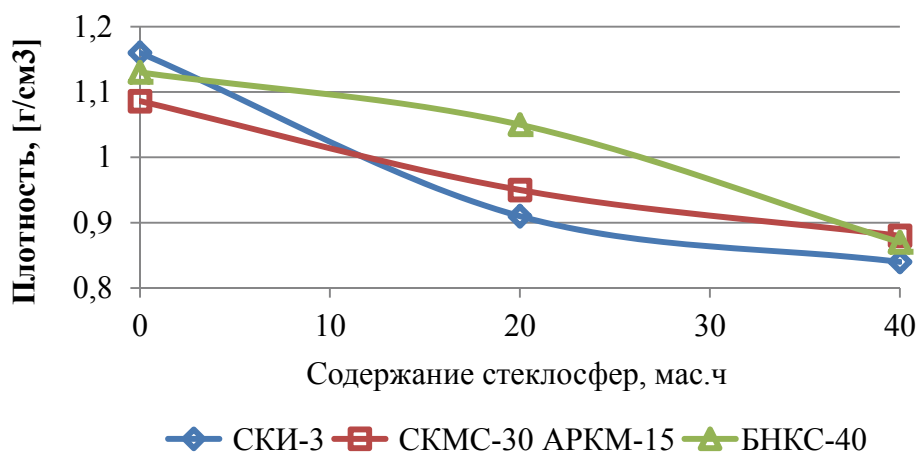
**Таблица 1 – Физико-механические характеристики вулканизатов, содержащих стеклосферы**

Параметры	Содержание стеклосфер в резиновой смеси, мас.ч. на 100 мас.ч. каучука								
	СКИ-3			СКМС-30			БНКС-40		
	–	20	40	–	20	40	–	20	40
Условное напряжение при 300 % удлинении, МПа	9,7	3,3	0,7	13,1	4,4	0,79	9,2	5,53	2,08
Условная прочность при разрыве, МПа	20,1	11,1	5,7	16,8	6,69	0,88	21,0	11,9	3,5
Относительное удлинение при разрыве, %	535	570	760	370	410	340	510	595	460
Эластичность по отскоку, %	42	50	51	31,3	36,1	33,3	14,1	15,5	7,3
Твердость по Шору А	68,4	63,6	57,5	74,9	72,8	72,1	85,4	84,6	82,3

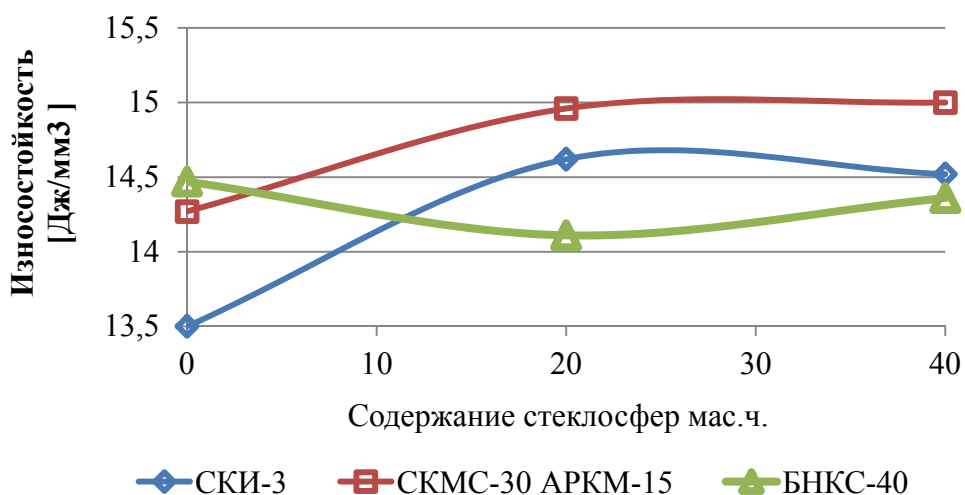
Уменьшение плотности резиновых смесей связано с содержанием в стеклосферах вакуумных полостей, при учете объема которых конечная плотность композиций уменьшается. Благодаря чему уменьшаются затраты на перевозку и облегчается монтаж готовых изделий.

Важной задачей являлось исследование влияния ввода и дозировки стеклосфер на износостойкость резин, что является одним из важ-

нейших показателей качества при применении их в резинотехнической промышленности (рис. 2). Введение и повышение дозировки стеклосфер в резиновые смеси увеличивает износостойкость композиций на 10 %.



**Рис. 1 – Плотность химически связанных цепей сетки стандартных резин, содержащих стеклосферы**



**Рис. 2 – Влияние стеклосфер на износостойкость композиций**

Анализ экспериментальных данных показал, что оптимальной дозировкой является введение 20 мас.ч полых стеклосфер в состав композиций, повышающих износостойкость, снижающих коэффициент трения, уменьшающих массу материала, при обеспечении требуемого уровня основных физико-механических показателей вулканизатов.

Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение совместимости стеклосфер с матрицей каучука для повышения прочностных показателей вулканизатов, путем использования модифицированных различными составами стеклосфер.

### **Список использованных источников**

1. R. Mohtadi, T. Matsunaga, K. Heung, R. Schumacher and G. Wicks, “Hollow Glass Microspheres as Micro Media for Complex Hydrogen Storage Compounds”. Журнал Академии наук SC.
2. L. K. Heung, G. G. Wicks and R. F. Schumacher, “Encapsulation of Palladium in Porous Wall Hollow Glass Microspheres”, Ceramic Transactions, vol. 202, p. 143–148, 2009.
3. Полые стеклосферы [Электронный ресурс] – Электр. текст. дан. – Режим доступа: <https://lassospb.ru/products/16665886>
4. Golubchikova K. E., Fayzullin I. Z., Volfson S. I. Light-diffusing composite material based on polystyrene and hollow glass microspheres // Journal of Thermoplastic Composite Materials. – 2019. – С. 0892705719882982.
5. Fayzullin I. Z. et al. Glass-Filled Wood-Polymer Composites Based on Polypropylene //Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications Ltd, 2019. – Vol. 816. – P. 197–201.

---

---

# СОДЕРЖАНИЕ

---

---

## Секция 3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ: ОТ НАУКИ К ИННОВАЦИЯМ

<i>Абрамов В.В., Троянов И.Н.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ.....	3
<i>Ашуйко В.А., Новикова Л.Н., Урбанович Н.И., Барановский К.Э.</i> ЦИНКСОДЕРЖАЩИЕ КРАСКИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ.....	7
<i>Бакин Д.А.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОБЫЧИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНДЕНСАТООТДАЧИ ПЛАСТА.....	12
<i>Вольфсон С.И., Файзуллин И.З., Бадретдинов З.М., Щербакова Т.В., Файзуллин А.З.</i> РАЗРАБОТКА ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....	14
<i>Безбородов В.С., Михалёнок С.Г., Кузьменок Н.М.</i> СОВРЕМЕННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ, АНИЗОТРОПНЫЕ ВЕЩЕСТВА, РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЕ.....	18
<i>Билалов А.Р.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ.....	22
<i>Бовтрель А.Ю., Божелко И.К.</i> ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ БИОЗАЩИТА ЭКСПОРТНОЙ ПИЛОПРОДУКЦИИ.....	25
<i>Вольфсон С.И., Хасанова А.Д., Хусаинов А.Д., Егоров А. С., Газизуллин А.И., Сайфуллин И.Н., Борейко Н.П.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ВУЛКАНИЗАТОВ.....	29
<i>Галковский Т.В., Богомазова Н.В., Жарский И.М., Кукло Л.И., Толстой В.П.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА SILD ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ.....	33
<i>Глухих А.А.</i> К ВОПРОСУ О ПРИНЦИПАХ РАБОТЫ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ.....	35
<i>Гнусов М. А.</i> ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НАПРАВЛЕННОГО ПОТОКА ГРУНТАЛЕСОПОЖАРНОГО ПОЛОСОПРОКЛАДЫВАТЕЛЯ С КОМБИНИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ.....	38

<i>Грибанов А.А.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	42
<i>Грибанов А.А., Василенко А.С.</i> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ .....	45
<i>Гудков А.Ю., Безноско Я.В.</i> РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ОТХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК.....	48
<i>Сухоцкий А. Б., Данильчик Е. С.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛОТДАЧИ ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ИЗ КРУГЛОРЕБРИСТЫХ ТРУБ С РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТОЙ ОРЕБРЕНИЯ.....	52
<i>Сухоцкий А. Б., Данильчик Е. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫТЯЖНОЙ ШАХТЫ НА СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛООБМЕН ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ИЗ КРУГЛОРЕБРИСТЫХ ТРУБ С РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТОЙ ОРЕБРЕНИЯ.....	55
<i>Панфилова О.А., Охотина Н.А., Долинская Р.М., Сиразетдинов А.В.</i> ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ВУЛКАНИЗАТЫ НА ОСНОВЕ ТРОЙНЫХ СМЕСЕЙ ПОЛИМЕРОВ .....	58
<i>Досанова Г.М., Талипов Н.Х., Левицкий И.А.</i> ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРМИКУЛИТОВ ТЕБИНБУЛАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАРАКАЛПАКСТАН .....	62
<i>Позняк А.И., Дяденко М.В., Колесников Е.А., Кусков К.В., Поспелов А.В., Шплис Н.В., Сидоревич А.Г.</i> ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ДВУМЕРНЫХКАРБИДОВ ТИТАНА В ИНЕРТНОЙ И ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДАХ.....	67
<i>Дяденко М.В., Сидоревич А.Г.</i> РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СВИНЦОВЫХ РАДИОЗАЩИТНЫХ СТЕКОЛ .....	71
<i>Зайцева Е.А., Еремин И.С.</i> ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖОМА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ .....	75
<i>Исачкин Н.Н.</i> БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНОГО РЕЗЕРВУРА ПО КРИТЕРИЮ ИСПАРЯЕМОСТИ ПРОДУКТА.....	77
<i>Карпова С.В., Мисюрлов О.А., Черная Н.В., Чернышева Т.В., Шишаков Е.П.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО СВЯЗУЮЩЕГО В ТЕХНОЛОГИИ МЕЛОВАННЫХ ВИДОВ БУМАГИ И КАРТОНА.....	79
<i>Колодкин Д.Ю., Кордикова Е.И.</i> ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ ПО FDM-ТЕХНОЛОГИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУЧАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ИХ АНИЗОТРОПИИ .....	83
<i>Кордикова Е.И., Дьякова Г.Н., Кублицкая А.В., Кулешо А.А.</i> ПЕРЕРАБОТКА КОЖЕВЕННЫХ ОТХОДОВ: ВТОРИЧНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ .....	88



<i>Левицкий И.А., Костик Е.А.</i> ДЕКОРИРОВАНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ КЕРАМИКИ ГЛАЗУРЯМИ КРАКЛЕ .....	91
<i>Кривошеев И.Ю., Леонтьев С.А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ.....	95
<i>Левицкий И.А., Кулакова Н.С.</i> ПРОЗРАЧНЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА .....	97
<i>Латидус А.Л., Худяков Д.С., Жагфаров Ф.Г.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ В СМОЛЕ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ .....	101
<i>Ларионов П.С., Павлюкевич Ю.Г., Е.Е. Трусова, Савонов Е.С., Магасова А.С.</i> СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОПАНТОВ.....	103
<i>Левицкий И.А., Костик Е.А.</i> МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ ГЛАЗУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ МАЙОЛИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	104
<i>Левицкий И.А., Кичкайло О.В., Тригубович А.И.</i> ИТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СПЕКАНИЯ ЛИТИЙАЛЮМОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКИ МОДИФИЦИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ .....	108
<i>Леонович О.К., Ерофеев Н.С.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УТЕПЛИТЕЛЯ «БЕЛТЕРМО».....	111
<i>Леонович О.К., Божелко И.К., Шернаев А.Н., Махмудов Ж.И.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОТОКСИЧНЫХ ПЛИТ СУХОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ИЗ СТЕБЛЕЙ ХЛОПЧАТНИКА И ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ .....	115
<i>Лешкевич А.В., Шашок Ж.С., Усс Е.П.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ В НАПОЛНЕННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ.....	119
<i>Липницкий П.А., Флейшер В.Л.</i> РАЗРАБОТКА СОСТАВА КЛЕЕВОЙ КАНИФОЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ГИДРОФОБИЗАЦИИ БУМАГИ И КАРТОНА.....	122
<i>Кузьменков М.И., Логвина К.А., Кузьменков Д.М., Шалухо Н.М.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАКА ОАО «БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД» В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА .....	125
<i>Лысыч М.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОВО-ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО МТА НА БАЗЕ ТРАКТОРА БЕЛАРУС-82.1 .....	127
<i>Лысыч М.Н.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО МТА НА ВИРТУАЛЬНОМ СТЕНДЕ.....	130

<i>Мазейка М. П.</i> ПРИМЕНЕНИЕ УМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПАРКАХ НА ПРИМЕРЕ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ПАРКА «ВЕЛИКИЙ КАМЕНЬ» .....	135
<i>Максименков А.И., Багно О.П.</i> ЛЕСОПИЛЬНОЕ ЛЕНТОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ – РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ .....	138
<i>Медяк Д.М., Урбанович Д.М.</i> УПАКОВКА ТОВАРА – ГАРАНТИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ .....	141
<i>Меняйлов К.А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МАНИПУЛЯТОРА АВТОСОРТИМЕНТОВОЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....	145
<i>Мисуно Ю.И.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ТИПОВДВИЖИТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН.....	150
<i>Герасимович Л.С., Веремейчик Л.А., Михайлов В.В.</i> ПРИНЦИПЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ТЕПЛИЧНОГО КОМБИНАТА .....	153
<i>Жукова И.И., Моложавцев С.Е., Левицкий И.А.</i> ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ РОЛИКОВ КОНВЕЙЕРНЫХ ПЕЧЕЙ .....	156
<i>Посметьев В.И., Никонов В.О.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕКУПЕРАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МАНИПУЛЯТОРЕ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА .....	160
<i>Овчинников Е.В., Возняковский А.П., Возняковский А.А., Кравченко В.И.</i> Триботехнические полимерные материалы, модифицированные нанодисперсными функционализированными частицами.....	164
<i>Овчинников Е.В., Чекан Н.М., Акула А.И., Эйсымонт Е.И., Кравченко В.И.</i> Антифрикционные вакуумные покрытия, получаемые по гибридной технологии .....	169
<i>Михайлов В.В., Овчинников Е.В., Пинчук Т.И.</i> НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ .....	172
<i>Павлюкевич Ю.Г., Папко Л.Ф., Кравчук А.П., Orhan Oguz Kendir, Хлыстов С.П., Солджунер Е.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫХ СТЕКОЛ И ВОЛОКОН.....	176
<i>Сергиенко Е.С., Янсон С.Ю., Левицкий И.А., Папко Л.Ф.</i> ИМПАКТНЫЕ СТЕКЛА. ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ФИЗИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ .....	179
<i>Петрушеня А.Ф., Касперович О.М., Ленартович Л.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ В СМЕСЯХ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА-6 И АБС-ПЛАСТИКА .....	182
<i>Поздняков А.К., Петков А.Ф., Шерстюков Н.А.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛЕСОПОЖАРНЫХ ГРУНТОМЕТОВ-ПОЛОСОПРОКЛАДЫВАТЕЛЕЙ .....	184

<i>Поляков С.И., Енин П.В., Парфенов А.В.</i> ДИСКРЕТНОЕ ВЕСОВОЕ ДОЗИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ.....	187
<i>Поляков С.И., Енин П.В., Парфенов А.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ .....	191
<i>Попов Р.Ю., Дятлова Е.М., Самсонова А.С., Погребенков В.М.</i> ПОЛУЧЕНИЕ КОРДИЕРИТОВОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ .....	196
<i>Попов Р.Ю., Борисевич И.Н.</i> КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ОСНОВЕ $Al_2O_3$ .....	198
<i>Дятлова Е.М., Богдан Е.О., Попов Р.Ю., Макушенко Е.Н.</i> ПОЛУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ГЛИНИСТЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	201
<i>Румынская Е.И., Кузьменков М. И., Короб Н.Г.</i> ОГНЕЗАЩИТНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КОНСТРУКЦИЯМ.....	205
<i>Серебренников Д.А.</i> АНАЛИЗ ОПЫТА ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ.....	208
<i>Снигирева И.А.</i> МЕТОД АКУСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАВИТАЦИИ НАСОСОВ.....	211
<i>Сосновская А.А., Флейшер В.Л.</i> СИСТЕМА $Co^{2+}/H_2O_2$ КАК АНАЛОГ РЕАГЕНТА ФЕНТОНА В СИНТЕЗЕ ТЕРПЕНОВЫХ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ АЛЬФА-ПИНЕНА.....	214
<i>Грушова Е.И., Станько М.В., Горошко М.А.</i> ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТРУКТУРИРОВАНИЯ НЕФТЯНГО БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО .....	217
<i>Танчук П.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОПОЕЗДОВ-СОРИМЕНТОВОЗОВ С ГИДРОМАНИПУЛЯТОРАМИ ПРИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТАХ.....	220
<i>Чесновский Е.В., Федосенко И.Г.</i> МЕТОДЫ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ .....	224
<i>Шиманская А.Н., Подсосонная А.Д., Байгазин Д.А.</i> КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ .....	228
<i>Вольфсон С.И., Файзуллин И.З., Щербакова Т.В., Бадретдинов З.М., Хафизова Д.Р.</i> РАЗРАБОТКА СТЕКЛОПОЛНЕННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КАРБОЦЕПНЫХ КАУЧУКОВ .....	232

Научное издание

**ИНТЕГРАЦИЯ И РАЗВИТИЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
СОТРУДНИЧЕСТВА – ВЗГЛЯД В БУДУЩЕ**

Сборник статей

II Международной научно-технической конференции  
«МИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2019»

В 3-х томах

Том 2

В авторской редакции

Компьютерная верстка *А. А. Селиванова*

Дизайн обложки *П. П. Падалец*

Подписано в печать 12.03.2020. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.

Усл. печ. л. 14,06. Уч.-изд. л. 14,24.

Тираж 50 экз. Заказ 72.

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.