

Министерство образования и науки Российской Федерации
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова



Новые материалы и технологии в условиях Арктики

**Материалы VI Международной конференции
с элементами научной школы для молодежи,
посвященной 30-летию высшего химического образования
в Республике Саха (Якутия)**

27-29 ноября 2023 г., Якутск, Россия

<https://www.s-vfu.ru/techart/>

Якутск
2023

УДК 66
ББК 35
Н11

Составители:

*А.А. Охлопкова, А.Г. Алексеев, А.П. Васильев, С.Н. Данилова,
Ю.В. Капитонова, Н.Н. Лазарева, П.Г. Никифорова, Н.Н. Петрова,
Д.Н. Сидорова, А.М. Спиридонов, Т.С. Стручкова,
П.Н. Тарасова, Н.Ф. Тимофеева*

Новые материалы и технологии в условиях Арктики [Электронный ресурс] : материалы VI Международной конференции с элементами научной школы для молодежи, посвященной 30-летию высшего химического образования в Республике Саха (Якутия), 27-29 ноября 2023 г., Якутск, Россия / [Сост. : А.А. Охлопкова и др.]. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2023. – 1 электрон. опт. диск

ISBN 978-5-7513-3684-4

Настоящий сборник составлен по итогам VI Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Новые материалы и технологии в условиях Арктики», состоявшейся в г. Якутске 27-29 ноября 2023 г.

Материалы предназначены для научных и педагогических работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов с целью применения в научно-исследовательской и педагогической деятельности.

УДК 66
ББК 35

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ № 1: КОНСТРУКЦИОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	9
РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА С СВС-ДОБАВКАМИ ПРИ ОДНООСНОМ ПРЕССОВАНИИ.....	9
ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП В НАНОАЛМАЗАХ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ	10
РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ КАНИСТР	12
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕПОЛЯРНЫХ КАУЧУКОВ НА СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ ХЛОРОПРЕНОВОГО КАУЧУКА.....	13
ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОМУФТОВОЙ СВАРКИ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА	15
ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ, РАЗГРУЗКИ И ПОГРУЗКИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ	17
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРОБЕТОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	19
ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ И МЕРКАПТОБЕНЗТИАЗОЛА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА.....	21
ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИТА	22
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЛАБО ОКИСЛЕННОГО ГРАФЕНА, СИНТЕЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ РАСЩЕПЛЕНИЕМ ГРАФИТА	25
ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ УКЛАДКИ УГЛЕВОЛОКОН НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНОЙ МАТРИЦЫ	27
ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА 6PPD НА СТОЙКОСТЬ РЕЗИН К СТАРЕНИЮ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И УГЛЕВОДОРОДНЫХ СРЕД.....	29
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА.....	31
ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ И ВОЛЛАСТОНИТА 33	
ВЛИЯНИЕ БОРПОЛИМЕРА НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ..	35
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СООТНОШЕНИЯ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО И НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКОВ НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРА.....	38
ВЛИЯНИЯ ТИПА РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ	40
ВЛИЯНИЕ ВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СВМПЭ С β -СИАЛОНОМ.....	41
DESIGN OF AN ULTRAVIOLET CHAMBER FOR STUDYING THE DESTRUCTION OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS	43
РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА, НАПОЛНЕННОГО МОДИФИЦИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ ВОЛОКНАМИ ЗОЛ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ.....	44
ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН УНВ-01 И УНВ-02 НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА	46
РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ИСКОПАЕМОЙ МАМОНТОВОЙ КОСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ.....	48
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПТФЭ, НАПОЛНЕННОГО СЛОИСТЫМИ СИЛИКАТАМИ	50
ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПТФЭ-КОМПОЗИТОВ В КАЧЕСТВЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СЛОЕВ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ С ШАРОВЫМ СЕГМЕНТОМ	51

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	52
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЯКУТИИ НА СВОЙСТВА СВМПЭ И ПКМ НА ЕГО ОСНОВЕ	54
ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРОСТОЙКОСТИ ЭКСТРУДИРУЕМЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ	56
ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ОТ ЕГО СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	58
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА	60
МНОГОУРОВНЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ	62
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА	64
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКРИЛОНИТРИЛ-БУТАДИЕН-СТИРОЛА ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА, АРМИРОВАННОГО КОРОТКИМ ВОЛОКНОМ	66
ВЛИЯНИЕ АЦЕТОНИЛА И НЕОЗОНА-Д НА СВОЙСТВА БУТАДИЕНОвого ЭЛАСТОМЕРА	68
РЕОЛОГИЯ ЭКСТРУДИРУЕМЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ	70
ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АРМИРОВАНИЮ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ	72
ВЛИЯНИЕ ВОЛЛАСТОНИТА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА	74
ИССЛЕДОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОРЫ ДАУРСКОЙ ЛИСТВЕННИЦЫ В ИНТЕРЕСАХ РАЗРАБОТКИ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ	76
ОЦЕНКА ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО И МНИМОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МОРОЗОСТОЙКОЙ РЕЗИНЫ МЕТОДОМ НАНОДМАИНДЕНТИРОВАНИЯ	78
ВЛИЯНИЕ ДИКУМИЛПЕРОКСИДА, ГИДРОКСИДА КАЛИЯ И ИХ КОМБИНАЦИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА	79
ВЛИЯНИЕ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ НА ПОРИСТОСТЬ ЭПОКСИАНИГРИДНОГО СТЕКЛОКОМПОЗИТА ..	81
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ И ДИБОРИДА ТИТАНА	83
КИНЕТИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОМУФТОВОЙ СВАРКЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ С УПРАВЛЯЕМОМ ОХЛАЖДЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР	84
ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА МАРКИ 273-83	87
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАПОЛНЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БНКС-18, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГИДРОЛИЗАТОМ КОЛЛАГЕНА	89
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ АРМИРУЮЩИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПКМ ..	91
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА, КАОЛИНИТА И ШПИНЕЛИМАГНИЯ	92
НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕОРИЯ ПРЯМОГО ОДНОСТОРОННЕГО ПРЕССОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА	94
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ПОРИСТОСТЬ БАЗАЛЬНОПЛАСТИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ОЧЕНЬ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА	96
СРАВНЕНИЕ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО ОРГАНОСИЛИКАТНОГО ПОКРЫТИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОБЩЕКЛИМАТИЧЕСКОМ ИСПОЛНЕНИИ	98
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ СВМПЭ НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ МОРОЗОСТОЙКОЙ РЕЗИНЫ	99
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ	

СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА И МОНТМОРИЛЛОНИТА	100
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКСИДОВ ЦИНКА, СВИНЦА И КАДМИЯ НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ.....	102
ВЛИЯНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА	104
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЛЛАСТОНИТА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПТФЭ.....	105
ВЛИЯНИЕ УСКОРИТЕЛЕЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ НА АДГЕЗИЮ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОЙ РЕЗИНОЙ.....	107
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА НА ОСНОВЕ ШИПИННОГО РЕГЕНЕРАТА И ВТОРИЧНОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА.....	109
ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С ДОБАВЛЕНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК	111
КОМПЬЮТЕРНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ.....	112
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФРИКЦИОННОГО ТЕПЛООБРАЗОВАНИЯ ПО ТЕМПЕРАТУРНЫМ ДАННЫМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА ТРЕНИЯ В ПОДШИПНИКЕ СКОЛЬЖЕНИЯ СВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ВАЛА.....	116
ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ	118
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЗИН НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИДРОЛИЗАТА КОЛЛАГЕНА И КАУЧУКА	120
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНЫХ КОМПОЗИТНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ СЛОИСТЫХ ДВОЙНЫХ ГИДРОКСИДОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ U(VI) ИЗ ЖИДКИХ СРЕД.....	121
RELAXOR BEHAVIOR OF NANO-SIZE CRYSTALLINE & AMORPHOUS PZT MICROSTRUCTURE FOR CAPACITOR APPLICATIONS	123
ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОИСТЫХ ДВОЙНЫХ ГИДРОКСИДОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К CS(I) В ЖИДКИХ СРЕДАХ СЛОЖНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА	123
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА/СЕРПЕНТИНИТА.....	124
ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ В ПРОЦЕССЕ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ НА ОСНОВЕ ГЕКСАМЕТАФОСФАТА НАТРИЯ	126
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНА ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ОБЛУЧЕНИИ.....	128
УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ СОСТАВЫ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ.....	130
ПРОЧНОСТЬ И СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРЫ И ПРЭСНОГО ЛЬДА.....	132
ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРОВ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В СТЕКЛОПЛАСТИКЕ В УСЛОВИЯХ РАСТЯГИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ.....	134
МЕТОДОЛОГИЯ И СИСТЕМА ПРОГРАММ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ИХ ВЯЗКОУПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ	136
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ, НАНЕСЕННЫХ НА ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННЫЙ ПИРОЛИТИЧЕСКИЙ ГРАФИТ, МЕТОДАМИ РФЭС И СТМ	138
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАТЕКСНЫХ КОМПОЗИТОВ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОРАЗМЕРНЫЙ НИТРИД БОРА И ОКСИДА ТИТАНА.....	139
МЕТАМОРФОЗЫ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И РАЗРАБОТКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ.....	141
СЕКЦИЯ № 2: ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ И	

УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	144
ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧЕСКОГО ЦЕОЛИТА FAU-ТИПА ПО ОТНОШЕНИЮ К ТЯЖЕЛЫМ МЕТАЛЛАМ И ОПАСНЫМ РАДИОНУКЛИДАМ	144
ИЗУЧЕНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ МАРХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	145
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНОГО ЧИСЛА МОТОРНОГО МАСЛА	147
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ РАСКОКСОВКИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	149
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОРФА В КАЧЕСТВЕ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ	151
БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГУМАТОВ КАЛИЯ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ И ОКИСЛЕННОГО КАМЕННОГО УГЛЯ	152
ОБРАЗОВАНИЕ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ЗАСОЛЕННОЙ, НАСЫЩЕННОЙ НЕФТЬЮ И РАСТВОРАМИ ПОЛИМЕРОВ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЕ	154
ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ИХ СТАБИЛЬНОСТИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ	156
ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БИТУМИНОЗНОЙ ПОРОДЫ СИНСКОЙ СВИТЫ АЛДАНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ	158
ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД НА ТЕПЛОТВОРНУЮ СПОСОБНОСТЬ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА	160
ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЙ БИООЧИСТКИ ПОЧВ ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ	162
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА АИ-100-К5	164
СЕКЦИЯ № 3: БИОТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	166
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ	166
ПОЛУЧЕНИЕ БРУШИТА И ГИДРОКСИАПАТИТА В ПРИСУТСТВИИ ХИТОЗАНА, ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ФАЗОВОГО СОСТАВА	168
ПЛАЗМЕННОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЫ	169
РАЗРАБОТКА ГУБНОЙ ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ПОМАДЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛАТА ТИМЬЯНА И ПЧЕЛИНОГО ВОСКА ЯКУТИИ	171
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ 3Д-ПЕЧАТНОГО РЕЕК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД И ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР	173
СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА АДГЕЗИВА ПОСТОЯННОЙ ЛИПКОСТИ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА	175
ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОСТНЫХ ЦЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСИ ФОСФАТА И СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ И БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИМЕРОВ: ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА, ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ И ПОЛИВИНИЛПИРОЛИДОНА	177
СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ ПОЛИЭТИЛЕН МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ТОКОФЕРОЛОМ АЦЕТАТОМ	179
СПОСОБ ПОВЕРХНОСТНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА	181
ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	183
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТРЕССОВЫХ ФАКТОРОВ НА АНТИОКСИДАНТНУЮ АКТИВНОСТЬ ТКАНЕЙ ПРОРОСТКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ	184
КОМПОЗИЦИОННЫЕ КРИОГЕЛИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ	185
ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНА В ТКАНЯХ <i>LARIX CAJANDERI</i> НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ	186

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗХВОИ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ.....	188
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИВНЕЙ МАМОНТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СОРТНОСТИ	190
БИОЗАРАЖЕНИЕ КОСТНЫХ ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ И СПОСОБЫ ПРОФИЛАКТИКИ.....	193
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА МОДИФИЦИРОВАННОГО ФОСФАТАМИ КАЛЬЦИЯ	194
СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ ПОЛИЭТИЛЕН МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ДИОКСИДОМ ЦИРКОНИЯ.....	197
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО α -ТОКОФЕРОЛОМ	199
МУЛЬТИМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СКАФФОЛДЫ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ: ЧИСЛЕННОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ	200
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛА И ОЦЕНКА АДГЕЗИИ КЛЕТОЧНОЙ КУЛЬТУРЫ.....	202
ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИЛАКТИДА НА ПРОЛИФЕРАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ФИБРОБЛАСТОВ.....	204
ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОСТНЫХ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА И АЛЬГИНАТА НАТРИЯ.....	205
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОКОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ	206
РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ АДГЕЗИВОВ ПОСТОЯННОЙ ЛИПКОСТИ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	208
ЧИСЛЕННОЕ СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ТРАБЕКУЛЯРНОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ И СКАФФОЛДОВ ДЛЯ ЕЕ ЗАМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ РОСТА ТРЕЩИН И РАЗРУШЕНИЯ	210
ИССЛЕДОВАНИЕ ОТХОДОВ МИКРОЗЕЛЕНИ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ ЖИВОТНЫХ	212
СЕКЦИЯ № 4: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	214
ПРОПЕДЕВТИЧЕСКИЙ КУРС «ВВЕДЕНИЕ В ХИМИЮ» ДЛЯ УЧАЩИХСЯ 7 КЛАССА КАК МОТИВАЦИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ХИМИИ	214
О СОЗДАНИИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ СЕКЦИИ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН ПО КЕРАМИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ	215
МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ К ОГЭ ПО ХИМИИ ДЛЯ УЧЕНИКОВ БАЗОВОГО ПРОФИЛЯ	218
ШКОЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ПО ХИМИИ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ ДИВЕРГЕНТНОГО МЫШЛЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ	219
О ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕБНОЙ МОТИВАЦИИ У ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ХИМИИ.....	221
30-ЛЕТ ВЫСШЕМУ ХИМИЧЕСКОМУ ОБРАЗОВАНИЮ В СВФУ: ИТОГИ, ПЕРСПЕКТИВЫ.....	222
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ МЕТОДОВ В ОБУЧЕНИИ ХИМИИ.....	224
ИГРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ХИМИИ.....	226
ТОНКОСЛОЙНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ПО ХИМИИ	228
ИНТЕГРАТИВНЫЕ УЧЕБНЫЕ ЗАДАНИЯ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ В СТАРШЕЙ ШКОЛЕ	230
КРУЖОК «УВЛЕКАТЕЛЬНАЯ ХИМИЯ» КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	232
РАЗРАБОТКА ЗАДАНИЙ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ	

ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ХИМИИ С РЕГИОНАЛЬНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ НА ОСНОВЕ МЕЖПРЕДМЕТНОЙ СВЯЗИ ХИМИИ И ГЕОГРАФИИ (НА ПРИМЕРЕ РАЗДЕЛА «МЕТАЛЛЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ», 9 КЛАСС)	234
НАУЧНЫЙ МЕТОД ПОЗНАНИЯ В ОБУЧЕНИИ ХИМИИ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ОСНОВНОЙ ШКОЛЫ	236
ДИАГНОСТИКА БАЗОВЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ ПОСРЕДСТВОМ ЗАДАНИЙ ЭЛЕКТИВНОГО КУРСА «КОМПОЗИТЫ МАТЕРИАЛЫ БУДУЩЕГО».....	240
САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ УЧЕБНЫЕ ДЕЙСТВИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ХИМИИ КАК ОСНОВА ДОСТИЖЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ	241
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПЛАМЕННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ПИЦЦЫ.....	243
РАЗРАБОТКА УЧЕБНЫХ ЗАДАНИЙ НА ОСНОВЕ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ОБУЧЕНИИ ХИМИИ.....	245
ФОРМИРОВАНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНО-ЦЕННОСТНОГО ОТНОШЕНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ШКОЛЬНОГО КУРСА ХИМИИ	247
СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ КАК СРЕДСТВО ДЛЯ РАЗВИТИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГРАМОТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ	248
ОНЛАЙН-ЗАНЯТИЯ ПО ХИМИИ КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ РЕГУЛЯТИВНЫХ УУД ОБУЧАЮЩИХСЯ ОСНОВНОЙ ШКОЛЫ	250

Секция № 1: Конструкционные изделия и функциональные материалы

РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА С СВС-ДОБАВКАМИ ПРИ ОДНООСНОМ ПРЕССОВАНИИ

Аверичев О.А., Столин П.А., Столин А.М.

ИСМАН, Черногловка, Россия

chegoleg@mail.ru

“RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF POWDER COMPOSITE MATERIALS BASED ON PTFE WITH SHS-ADDITIVES DURING UNIAXIAL LOADING”

Важной задачей в теории и практике холодного прессования металлополимерных порошковых материалов в закрытых пресс-формах является определение зависимости плотности материала от давления прессования. Для этого используется реологический подход, при котором изучается кинетика деформирования порошковых материалов при одноосном прессовании. Данный подход основан на исследовании зависимости напряжения σ в образце от относительной деформации ϵ в режиме постоянной скорости деформирования. При этом сама зависимость плотности материала от давления прессования зависит от времени выдержки спрессованного образца под давлением, скорости нагружения плунжера пресса, характера его движения ($P = \text{const}$ либо $V = \text{const}$). Преимущество режима нагружения с постоянной скоростью состоит в отсутствии необходимости большого числа экспериментов при различных давлениях нагружения, реологическая кривая получается из одного опыта для всего диапазона напряжений.

Экспериментально исследовано реологическое поведение композитных порошковых материалов на основе полимерных смесей политетрафторэтилена (ПТФЭ) ПН-90 с функциональными добавками. Известно, что различного рода добавки к фторопласту Ф-4 способны в значительной степени повышать износостойкость изделий из него [1]. В данной работе в качестве таких добавок рассмотрены частицы из карбида и диборида титана, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с характерным размером 50-100 мкм. Такие добавки могут быть эффективными для решения ряда задач, направленных на повышение износостойкости и механической прочности узлов трения [2].

Изучен процесс прессования композитных порошков в специальной пресс-форме путем нагружения в режиме постоянной скорости от насыпной плотности до плотности компакта. Установлены интервалы напряжений, соответствующие трем различным стадиям процесса деформирования изучаемых марок фторопласта (рис. 1). Определена область напряжений в образцах, при которой реализуется наиболее благоприятная стадия прессования за счет агломерации и аккомодации частиц (35-40 МПа). Показано, что при напряжениях σ 170-180 МПа возможно достичь плотности, соответствующей расчетной плотности компакта ρ 2.24-2.25 г/см³. В качестве объекта сравнения был выбран композит с добавкой в виде базальтового волокна, а также чистый ПТФЭ без добавок.

Сопоставительный анализ полученных кривых выявил особенность кинетики уплотнения в режиме заданной скорости плунжера в сравнении с режимом заданной нагрузки: в первом случае после некоторого периода индукции происходит прогрессивное нарастание сопротивления деформированию. Этот эффект обусловлен сильной нелинейной зависимостью объемной вязкости от плотности. Получены реологические кривые зависимостей напряжения от деформации и плотности от давления, с помощью которых определено время индукции начала прогрессивного нарастания напряжений внутри образца. На основе полученных кривых был определен модуль сжимаемости G и коэффициент сжимаемости $k_{сж}$. Показано, что значение модуля сжимаемости в случае рассматриваемых композитных смесей выше, чем чистого ПТФЭ. Экспериментально установлено, что время прохождения стадии пластического деформирования зависит от дисперсности и морфологии частиц порошка. Чем мельче частицы, тем быстрее протекает данная стадия. Показано, что предварительная подготовка фторопласта может качественно изменить характер процесса уплотнения.

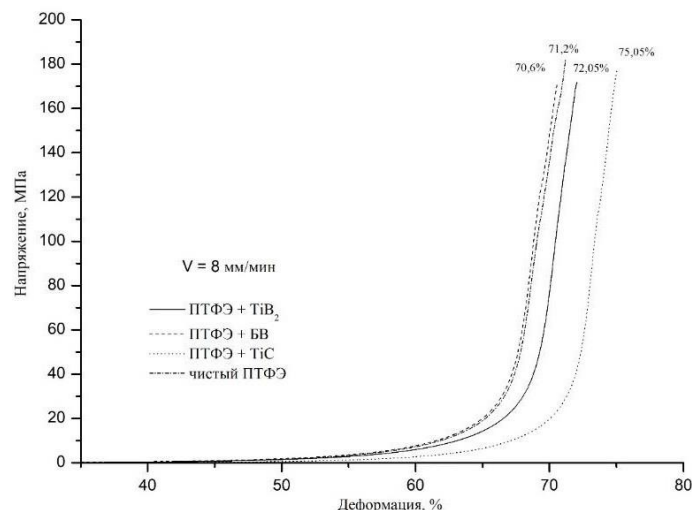


Рисунок 1 – Реологические кривые холодного одноосного прессования композитных материалов на основе ПТФЭ с различными наполнителями

В результате работы, методом холодного прессования получена серия образцов полимерных композиций с СВС-добавками. Данные образцы будут отправлены на механические испытания на износостойкость и механическую прочность с целью выявления наиболее перспективных композиций. Потенциальная область применения данных материалов – изготовление из них прокладок, втулок, изоляторов, различных соединений, используемых в узлах трения и работающих при низких температурах в условиях Арктики.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-20056.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Salunkhe, S. Friction and wear analysis of PTFE composite materials [Text] / S. Salunkhe, P. Chandankar // Innovative Design, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (I-DAD 2018) Volume 2. – Springer Singapore, 2019. – P. 415-425.
2. Stolin, A.M. Manufacture of multipurpose composite and ceramic materials in the combustion regime and high-temperature deformation (SHS extrusion) [Text] / A.M. Stolin, P.M. Bazhin // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2014. – Vol. 48. – P. 751-763.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП В НАНОАЛМАЗАХ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Сивцева А.В.¹, Шарин П.П.¹, Яковлева С.П.¹, Акимова М.П.²

¹ИФТПС СО РАН, Якутск, Россия; ²ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия;

sianva@yandex.ru

“CHANGES IN THE COMPOSITION OF FUNCTIONAL GROUPS IN NANODIAMONDS AFTER HEAT TREATMENT”

Для применения наноалмазов в таких отраслях, как медицина и биология, требуется регулирование химического состояния поверхности частиц, поскольку функциональный состав наноалмазов от одной партии к другой может сильно отличаться, что связано с условиями их получения и используемыми методами очистки, необходимо качественное и количественное определение поверхностных функциональных групп [1-3]. Как правило, непосредственно после синтеза алмазная шихта может содержать 30–40% неалмазного углерода, металлических и других примесей, удаление которых проводят многостадийной обработкой смесями сильных кислот, в результате чего поверхность наночастиц алмазов оказывается окисленной. Для качественного и количественного определения кислородсодержащих функциональных групп в углеродных материалах используют метод обратного титрования Боэма [4, 5]. Несмотря на трудоемкость выполнения титрование по Боэму является наиболее точным методом для количественного определения кислородсодержащих групп.

В работе [6] исследовано влияние окисления кислородом воздуха в интервале температур 200–550 °С

на морфологию, элементный и фазовый состав, химическое состояние и структуру первичных частиц нанопорошков, полученных измельчением природного алмаза (ПНА) и методом детонационного синтеза (ДНА). Показано, что при термическом окислении кислородом воздуха происходит не только удаление неалмазного углерода, но и изменение состава функциональных групп.

Цель работы – исследовать влияние термического окисления кислородом воздуха на состав функциональных групп в наноалмазах, полученных измельчением природного алмаза (ПНА) и детонационным синтезом (ДНА).

Методика получения нанопорошков из природного алмаза (ПНА) и их химическая очистка описаны в [7]. В качестве образцов наноалмаза детонационного синтеза (ДНА) использовали нанопорошок марки УДА-С-ГО производства ФНПЦ «Алтай» (г. Бийск). Термическое окисление образцов заключается в ступенчатом нагреве на воздухе при атмосферном давлении при следующих значениях температуры и времени: при 200 °С в течении 1 часа, при 300 °С – 2 часов, при 400 °С – 3 часов, при 500 °С – 4 часов и при 550 °С – 5 часов.

Для приготовления растворов реагентов для титрования использовались следующие реактивы: Na₂CO₃, NaHCO₃, NaOH, HCl марки «х.ч.» и дистиллированная вода. Порошки Na₂CO₃, NaHCO₃ были подсушены в сушильном шкафу в течение 1 часа. Исходя из реакций нейтрализации, концентрация карбоксильных групп равна усредненному значению U, определенному по разнице концентраций NaHCO₃. Концентрация суммы гидроксильных и лактонных групп равна усредненному значению U, определенному по разнице концентраций Na₂CO₃. Концентрация суммы гидроксильных, лактонных и карбоксильных групп равна усредненному значению U, определенному по разнице концентраций NaOH.

В табл. 1 приведено содержание кислотных кислородсодержащих функциональных групп (U) в исходных образцах ДНА и ПНА и после их термического окисления при 550 °С.

Таблица 1 – Содержание функциональных групп в порошках ДНА и ПНА, определенное титрованием по методу Бозма

Функциональные группы	U, мкмоль/г			
	ПНА		ДНА	
	Исх.	550 °С	Исх.	550 °С
Гидроксильные	16	9	124	45
Лактонные и ангидридные	1	1	20	5
Карбоксильные	9	19	107	213
Всего	26	29	250	263

Как видно из данной таблицы, после термического окисления общее количество кислородсодержащих кислотных групп незначительно увеличивается. Это согласуется с результатами, полученными методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (см. табл. 2) [6].

Таблица 2 – Вклад состояний углерода в суммарный спектр C1s (%) в исходных образцах ПНА и ДНА и после термического окисления

Состояние углерода	ПНА		ДНА	
	Исх.	550 °С	Исх.	550 °С
sp ² , %	10,6	7,1	33,2	21,4
sp ³ , %	79,2	82,1	39,8	46,5
C-O, C-O-C, COOH, %	10,2	10,8	27,0	32,1

Как видно из табл. 2, в нанопорошках ПНА относительное содержание кислородсодержащих групп увеличилось с 10,2 до 10,8%, а в нанопорошках ДНА – с 27,0 до 32,1%. По данным, полученным с помощью титрования по методу Бозма (табл. 1), содержание кислотных кислородсодержащих групп в образцах ПНА увеличилось с 26 до 29 мкмоль/г, а в образцах ДНА с 250 до 263 мкмоль/г после их термического окисления при 550 °С. Также повышается количество карбоксильных групп за счет снижения количества гидроксильных групп на поверхности образцов ПНА и ДНА после термоокисления.

Уменьшение содержания гидроксильных групп на поверхности частиц ПНА и ДНА объясняется дегидратацией образцов с отщеплением гидроксогрупп, и с испарением физически или химически

сорбированной воды. Повышение содержания карбоксильных групп указывает на окисление поверхности наночастиц алмазов кислородом воздуха. Отметим, что после ступенчатого термического окисления содержание лактонных и ангидридных групп в образцах ДНА уменьшается. Это может быть связано с десорбцией ангидридных и лактонных групп в виде CO и CO₂ при температурах выше 400 С [8].

Таким образом, методами обратного титрования по Бюэму и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии определено содержание кислородсодержащих функциональных групп в наноалмазах, полученных измельчением природного алмаза и детонационным синтезом до и после термического окисления. Методом РФЭС показано снижение относительного содержания неалмазного (sp²) углерода в нанопорошках ПНА и ДНА после термоокисления.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Рег. № 121032200039-9, научная тема FWRS-2021-0019). Авторы выражают благодарность ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН за возможность проведения исследований на научном оборудовании Центра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Mayerhoefer, E. Surface Control of Nanodiamond: From Homogeneous Termination to Complex Functional Architectures for Biomedical Applications [Text] / E. Mayerhoefer, A. Krueger // Accounts of Chemical Research. – 2022. – Vol. 55, No. 24. – P. 3594-3604.
2. Singh, J. Carbon Nanostructures as Therapeutic Cargoes: Recent Developments and Challenges [Text] / P. Nayak, G. Singh, M. Khandai, R.R. Sarangi, M.K. Kar // C. – 2022. – Vol. 9, No. 1. – P. 3.
3. Jung, H.-S. Surface Modification of Fluorescent Nanodiamonds for Biological Applications [Text] / H.S. Jung, K. C. Neuman // Nanomaterials. – 2021. – No. 11. – P. 153.
4. Shakun, A. Influence of Surface Modified Nanodiamonds on Dielectric and Mechanical Properties of Silicone Composites [Text] / A. Shakun, R. Anyszka, S. Essi, B. Anke, J. Vuorinen // Polymers. – 2019. – No. 11. – P. 1104.
5. Полянская, Е.М. Исследование функциональных групп на поверхности окисленного углеродного материала Сибунит методами кислотно-основного титрования и РФЭС [Текст] / Е.М. Полянская, О.П. Таран // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2017. – №. 10. – С. 6-26.
6. Шарин, П.П. Термоокисление на воздухе нанопорошков алмазов, полученных механическим измельчением и методом детонационного синтеза [Текст] / П.П. Шарин, А.В. Сивцева, В.И. Попов // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2022. – №. 4. – С. 67-83.
7. Шарин, П.П. Сравнение морфологических и структурных характеристик частиц нанопорошков, полученных измельчением природного алмаза и методом детонационного синтеза [Текст] / П.П. Шарин, А.В. Сивцева, С.П. Яковлева, М.М. Копырин, С.А. Кузьмин, В.И. Попов, Л.А. Никифоров // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2019. – №. 4. – С. 55-67.
8. Tsaryuk, G.G. Effect of ultrasonic treatment on the thermal oxidation of detonation nanodiamonds [Text] / G.G. Tsaryuk, V.E. Diyuk, R. Mariychuk, A.N. Panova, O.B. Loginova, L.M. Grishchenko, A.G. Dyachenko, R.P. Linnik, A.N. Zaderko, V.V. Lisnyak / Applied Nanoscience. – 2020. – No. 10. – P. 4991-5001.

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ КАНИСТР

Аргунова А.Г.¹, Петухова Е.С.¹, Федоров А.Л.¹, Капитонова Л.А.²

¹ИПНГ СО РАН ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия; ²СВФУ, Якутск, Россия

ag_argunova@mail.ru

“DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYETHYLENE FOR THE PRODUCTION OF FUEL CANISTERS”

Для изготовления топливных канистр необходимо использовать электропроводящий материал, который позволяет рассеивать накапливаемое статическое электричество для предотвращения возгораний. В качестве таких материалов обычно используют саженатолненные полиэтиленовые компаунды и концентраты полиэтилена (ПЭ). Однако в настоящее время в связи с нестабильной политической ситуацией, наложением санкций на ввоз импортного сырья и оборудования рынок промышленных полиэтиленов испытывает существенные изменения [1]. Стоит острый вопрос об импортозамещении, в связи с чем необходимо разработать новые рецепты электропроводящих

полиэтиленовых композитов, которые смогут быть альтернативным сырьем для производства без потери качества конечного продукта или даже с улучшенным комплексом свойств.

Практически все флаконы, бутылки и канистры с ручками по умолчанию изготавливаются из полиэтилена низкого давления (ПЭНД). Одной из самых популярных до настоящего времени марок электропроводящего ПЭНД-композита являлась PE1296 фирмы «Remix» (Финляндия), используемая специально для экструзионно-выдувного выдувания, альтернативы которой нет.

Для решения этой проблемы был проведен анализ рынка ПЭНД, электропроводящего техуглерода (ТУ) и концентратов на их основе. Таким образом, в качестве полимерной матрицы были использованы полиэтилены марок ПЭНТ74-15 (ПАО «Казаньоргсинтез») и PE6252J (ПАО «Нижнекамскнефтехим») и электропроводящие марки сажи производства ООО «Омсктехуглерод». Композиты изготавливали с использованием лабораторного пластикордера PL2200 Brabender (Германия), ПЭ и наполнители смешивали в роторном смесителе пластикордера при температуре 180 °С и скорости вращения валков 30 об/мин в течение 10 мин. Полученную смесь непосредственно после смешения (практически не охлаждая) механически измельчали до необходимых размеров. Затем экструдировали ленты шириной 2–2,5 см и толщиной 1,8–2,5 мм. Длина лент определялась количеством материала.

Были исследованы физико-механические характеристики, удельное объемное электрическое сопротивление, плотность и показатель текучести расплава (ПТР) полученных образцов. Установлено, что близкими к аналогу физико-механическими характеристиками обладают саженаполненные композиты, содержащие 15-20 мас.% ТУ. Введение в состав композита 30 мас.% ТУ приводит к резкому снижению деформационных характеристик. Показано, что порог перколяции электропроводности [2] разрабатываемых композитов достигается при концентрации ТУ 15 и более мас.%. Установлено, что ПТР композитов, содержащих 30 мас.% ТУ при нагрузке 5 кг не определяется, т.е. переработка таких материалов методом экструзионно-выдувного формования представляется невозможной. Однако такие материалы могут рассматриваться как концентрат ТУ, разбавление которого базовыми марками ПЭ позволит получать изделия методом экструзионно-выдувного формования.

Таким образом разработаны рецептуры электропроводящих композитов на основе ПЭНД, содержащих 15-20 мас.% ТУ, а также электропроводящие концентраты, предназначенные для разбавления базовыми марками ПЭ, содержащие 30-40 мас.% ТУ.

Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ №122011100162-9 с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН, грант № 13.ЦКП.21.0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Экспорт полимеров из РФ [Электронный ресурс]. – URL: https://iadevon.ru/news/chemistry/eksport_polimerov_iz_rf:_rost_v_evropu_i_spad_na_vostok_v_1_polugo_dii-13217/ (Дата обращения 07.11.2023)
2. Stauffer, D. Introduction to percolation theory / D. Stauffer, A. Aharony. – London: Taylor and Francis, 1992. – 91 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕПОЛЯРНЫХ КАУЧУКОВ НА СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ ХЛОРОПРЕНОВОГО КАУЧУКА

Белослюдцева Д.Я.¹, Федорова А.Ф.²

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

Alexana98@gmail.com

“STUDY OF THE INFLUENCE OF NON-POLAR RUBBERS ON THE PROPERTIES OF RUBBERS BASED ON CHLOROPRENE RUBBER”

Резины на основе хлоропренового каучука обладают хорошими механическими свойствами, такими как высокая прочность и упругость [1-3]. Однако они недостаточно морозостойки и могут использоваться при температурах от +90 до –25 °С. Для повышения низкотемпературных характеристик материала можно использовать смеси каучуков [4-6]. Поскольку хлоропреновые каучуки (ХПК) хорошо совмещаются с полярными и неполярными каучуками, целью работы являлось исследование свойств эластомерных композиций на основе хлоропренового и бутадиенового каучуков с добавлением бутадиенстирольного каучука.

Актуальность работы заключается в том, что мы улучшили свойства резины на основе ХПК путем добавления СКД и ДССК, в особенности морозостойкость.

Объектом исследований выбраны резины на основе хлоропренового каучука (ХПК) марки Denka S-40. Для повышения морозостойкости материала выбран полибутадиеновый каучук (СКД) марки В-Тi. Дивинил-стирольный синтетический каучук (ДССК) марки 1810Ф использовали для предотвращения кристаллизации. Содержание каучуков в резиновых смесях представлено на рис. Кроме того, резиновые смеси содержали технический углерод П-803, стеариновую кислоту, оксид цинка, оксид магния, серу, N,N'-дифенилгуанидин, тетраметилтиурамдисульфид.

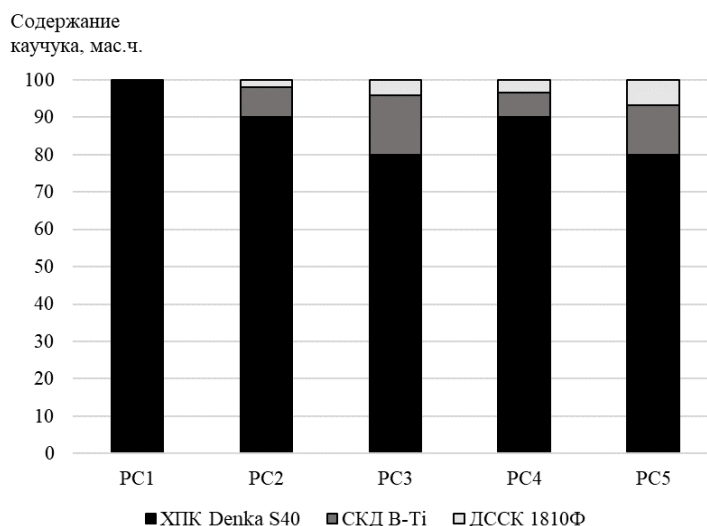


Рисунок 1 – Содержание каучуков в резиновых смесях

В результате определения вулканизационных характеристик резиновых смесей при разных температурах показано, что добавление в резиновую смесь каучуков СКД и ДССК приводит к увеличению минимального крутящего момента при разных температурах, что отражает повышение вязкоупругих свойств и жесткости смеси в начале вулканизации. Также отмечено увеличение максимального крутящего момента, характеризующего жесткость резины в конце вулканизационного процесса, за исключением смеси PC5, содержащей максимальное количество ДССК, по сравнению с другими смесями. Наибольший индукционный период, а именно самые высокие значения времени начала и конца подвулканизации выявлены для резины на основе ХПК, не содержащей других каучуков (смесь PC1). Быстрее всех подвулканизации подвергаются смеси PC3 и PC5, эти же смеси быстрее всех достигают оптимума вулканизации и обладают самыми высокими значениями скорости образования пространственной сетки в процессе вулканизации.

Таблица 1 – Свойства резин

Резиновая смесь	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость по Шору А, у.е.	Объемный износ, см ³	Остаточная деформация сжатия, %	Степень набухания в СЖР-3 (72ч*100°С), %	Темп-й предел хрупкости, °С
PC1	21,6	479	57	0,038	71	13,2	-33
PC2	20,4	405	68	0,042	63	17	-37
PC3	20,1	333	71	0,049	56	22,2	-59
PC4	21,2	411	68	0,046	57	17,5	-39
PC5	21,4	519	64	0,046	56	22,4	-61

В табл. 1 представлены результаты физико-механических испытаний. Условная прочность при растяжении вулканизатов почти одинакова, изменение не превышает 10%. Относительное удлинение уменьшается с увеличением содержания неполярных каучуков, за исключением смеси РС5. Твердость увеличивается на 8-17%, составляя 64–71 Шору А, а объемный износ резины увеличивается (от 9 до 22%). Резины с высоким содержанием ДССК, такие как смеси РС3 и РС5, проявляют наименьшие значения остаточной деформации сжатия. Стойкость резин к агрессивным средам определяли в среде СЖР-3, который представляет собой дистиллятный продукт из малопарафинистой нефти. Поскольку СЖР-3 является углеводородной средой, соответственно повышается набухание смесевых композиций с увеличением содержания в них неполярных каучуков СКД и ДССК.

Одним из недостатков резин на основе хлоропренового каучука является температурный диапазон работы изделий на их основе, а именно низкая морозостойкость. Введение в состав резин бутадиенового и бутадиен-стирольного каучуков позволяет значительно повысить морозостойкость материала. Температура хрупкости резины на основе ХПК составляет -33°C. При введении 16,0 мас.ч. СКД и 4,0 мас.ч. ДССК температура хрупкости составляет -59, а при введении 13,3 мас.ч. СКД и 6,7 мас.ч. ДССК – -61 °С, что обусловлено высокой морозостойкостью СКД и предотвращением кристаллизации добавлением ДССК.

Таким образом, показано, что комбинация хлоропренового каучука с бутадиеновым и бутадиенстирольным каучуками позволяет получить материал с удовлетворительным комплексом физико-механических и низкотемпературных свойств при следующих соотношениях каучуков Denka S40/СКД/ДССК: 80,0/16,0/4,0 и 80,0/13,3/6,7 мас.ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ильин, В.М. Производство хлоропреновых каучуков в мире [Текст] / В.М. Ильин, А.К. Резова // Каучук и резина, 2014. №6. С.52-56.
2. Захаров, Н.Д. Хлоропреновые каучуки и резины на их основе [Текст] / Н.Д. Захаров. – М.: Химия, 1978. – 272 с.
3. Резинченко, С.В. Большой справочник резинщика. Ч.2. Резины и резинотехнические изделия [Текст] / С.В. Резинченко, Ю.Л. Морозова. – М.: «Техинформ» МАИ, 2012. – 649 с.
4. Гришин, Б.С. Резиновая промышленность России - от настоящего, через прошлое к будущему [Текст] / Б.С. Гришин // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2015. – №. 1. – С. 3-9.
5. Бузник, В.М. Материалы для освоения арктических территорий – вызовы и решения [Текст] / В.М. Бузник, Н.И. Василевич // Лаборатория и производство. – 2020. – №. 1(11). – С. 98-107.
6. Чайкун, А.М. Особенности построения рецептур для морозостойких резин [Текст] / А.М. Чайкун, О.А. Елисеев, И.С. Наумов, М.А. Венедиктов // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – №. 3. – С. 53-55.

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОМУФТОВОЙ СВАРКИ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА

Старостин Н.П., Ботвин Г.В., Петров Д.Д., Данзанова Е.В.

ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия

Gleb-0379@mail.ru

“ELECTROFUSION WELDING TECHNOLOGY AT LOW TEMPERATURE”

В регионах холодного климата при строительстве газопроводов все большую долю занимают полиэтиленовые (ПЭ) трубы. Наиболее распространенным способом соединения этих труб при ремонтно-восстановительных работах является сварка с помощью деталей с закладными нагревателями (электромурфовая). Однако сварка этих труб по рекомендуемым, нормативными документами и производителями сварочного оборудования, режимам обеспечивает надежное соединение при температурах окружающего воздуха (ОВ) не ниже минус 15°C, либо сварка должна проводиться после конденсирования свариваемого участка в отапливаемом укрытии в течении от 1 до 16ч в зависимости от типоразмера трубы, что несет за собой значительные финансовые и временные затраты [1]. В связи с этим, особую актуальность приобретают вопросы проведения монтажных и ремонтно-восстановительных работ на газопроводах в условиях низких температур ОВ.

В чем заключается влияние низких температур ОВ при электромуфтовой сварке ПЭ труб. Натурные эксперименты по исследованию температурных полей показали, что на этапе оплавления при низких температурах ОВ, происходит недогрев материала, разница температур на стыке свариваемых поверхностей при минус 30 и плюс 25°С составляет 25°. Также из-за низкой температуры периферийных областей и, как следствие, увеличившемся кондуктивному теплообмену увеличилась скорость охлаждения материала сварного шва (рис.1).

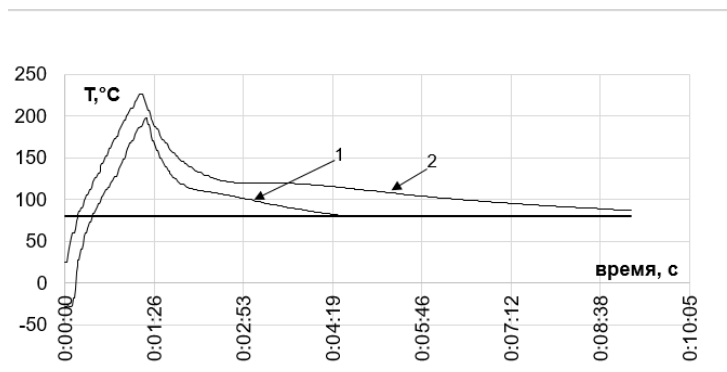


Рисунок 1 – Изменение температуры расплава сварного шва по времени при температуре ОВ:
1 - минус 30 °С, 2 - 25°С

В ИПНГ СО РАН была разработана технология электромуфтовой сварки ПЭ труб при низких температурах ОВ [2] заключающаяся в том, чтобы обеспечить протекание тепловых процессов в сварном соединении при низких температурах ОВ по закономерностям характерным тепловым процессам сварки при допустимых температурах ОВ. Для обеспечения необходимого нагрева свариваемые детали предварительно подогреваются с помощью закладного нагревателя до температуры выше 25 °С, а затем свободно охлаждаются до 25°С для равномерного распределения температур в стенках трубы и электромуфты. Время подогрева и остывания определяются расчетным путем. Далее оплавление происходит по стандартному режиму. Для снижения скорости охлаждения расплава остывание сварного соединения происходит в теплоизоляции размеры и толщина которой зависят от температуры ОВ и от типоразмера трубы. После проведения предварительного подогрева и охлаждения сварного соединения в теплоизоляции распределение температур расплава по времени при низких температурах ОВ и при комнатной температуре становятся близкими друг другу (рис 2.).

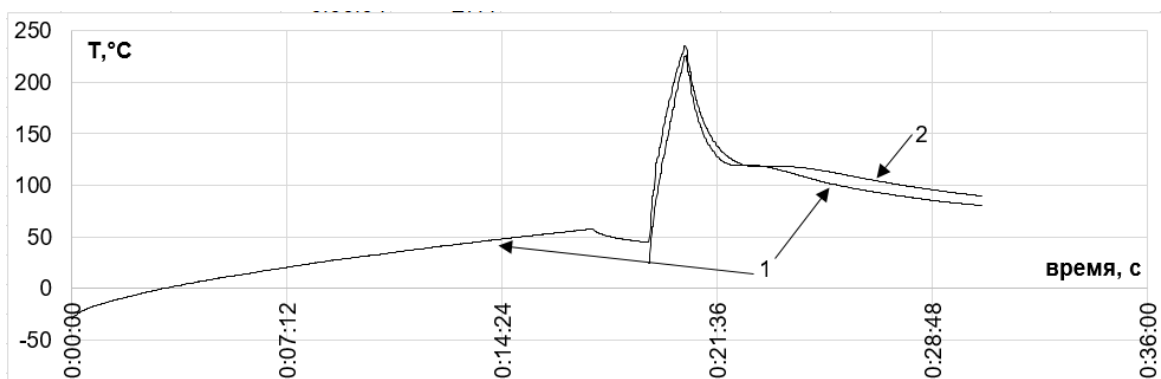


Рисунок 2 – Изменение температуры материала сварного шва по времени при температуре ОВ:
1 - минус 30°С с предварительным подогревом и охлаждением в теплоизоляции, 2 - 25°С

Недостаток этой технологии в небольшом несовпадении скорости охлаждения материала сварного шва при и необходимости использования теплоизоляции разной толщины и размеров. Для устранения этого недостатка предлагается регулировать скорость остывания материала сварного шва с помощью закладного нагревателя фитинга, путем подачи на него напряжения изменяющегося по закону, определенному расчетами [3].

Итак, после проведения предварительного подогрева, путем подачи на закладной нагреватель постоянного напряжения (напряжение и время подогрева определяются расчетным путем), обеспечившего надлежащий нагрев материала сварного шва и регулирования скорости остывания путем подачи на закладной нагреватель меняющегося напряжения мы добились, как показывают

экспериментальные данные распределения температур, того что тепловой процесс сварки при низких температурах ОВ протекает практически идентично процессу сварки при комнатной температур ОВ (рис. 3).

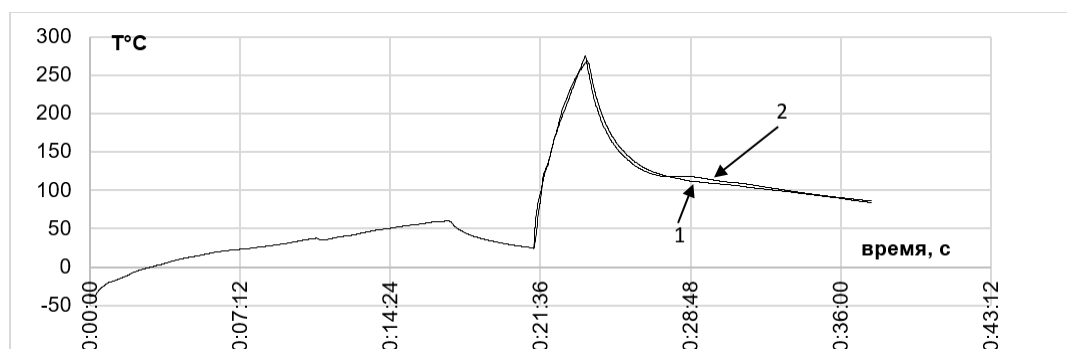


Рисунок 3 – Изменение температуры материала сварного шва по времени при температуре ОВ: 1- минус 30°C с предварительным подогревом и регулируемым охлаждением, 2- 25°C

Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ №122011100162-9, FWRS-2021-0004 с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН, грант №13. ЦКП. 21. 0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СП 42-103-2003. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов = Design and construction of gas pipelines made of polyethylene pipes and reconstruction of worn-out gas pipelines. Введен Госстрой России 26.11.2003: введен впервые: дата введения 27 ноября.2003 / подготовлен Госгортехнадзор России. – М.: Полимергаз, ФГУП ЦПП, 2004. – 86 с.
1. Пат. 2450202 РФ. МПК F16L 47/03 B29C 65/34. Способ муфтовой сварки полимерных труб [Текст] / Н.П. Старостин, Г.В. Ботвин, Е.В. Данзанова; заявитель ФГБУН ИФНГ СО РАН. – № 2010130131/06.; опубл. 19.07.2010, Бюл. № 13/;
3. Старостин, Н.П. Управление охлаждением при электромужфтовой сварке полиэтиленовых труб при низких температурах с помощью закладного нагревателя [Текст] / Н.П. Старостин, О.А. Аммосова, Д.Д. Петров // Сварка и диагностика. – 2022. – №. 3. – С. 51–55.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ, РАЗГРУЗКИ И ПОГРУЗКИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Старостин Н.П., Ботвин Г.В., Николаева М.А.

ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия

Gleb-0379@mail.ru

“THE METHOD OF LOADING, UNLOADING AND TRANSPORTATION OF POLYPROPYLENE PIPES AT LOW TEMPERATURES”

Технические характеристики, легкий вес и простота монтажа сделали полипропиленовые (ПП) трубы одними из самых популярных при прокладке систем водо- и теплоснабжения. Согласно нормативным документам транспортирование, погрузка и разгрузка ПП труб должны проводиться при температуре окружающего воздуха (ОВ) не ниже минус 10 °С. Практика показывает, что выполнение погрузочно-разгрузочных работ и транспортирование ПП осложняется уже при температурах выше указанного температурного ограничения. Для уточнения значения температуры, ниже которой нежелательно проведения подобных работ проведены испытания на растяжения и ударную прочность трубного полипропилена при различных температурах окружающего воздуха (ОВ).

Как показали испытания на растяжение при понижении температуры от 20 до 0°C относительное удлинение понижается практически на 90%., а с понижением до минус 20°C снижается до 3% от его значения при температуре ОВ 20°C (рис. 1).

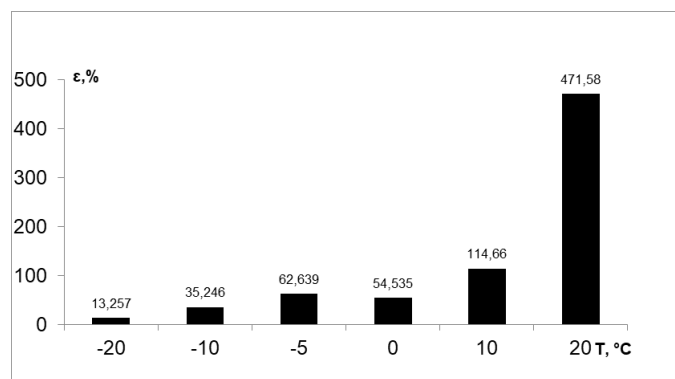


Рисунок 1 – Зависимость относительного удлинения при растяжении образцов ПП от температуры

Испытания на определение ударной прочности падающим грузом по ASTM B 2444-99 показали, что при температуре ОВ 22 °С образцы выдерживали разрушающее усилие, соответствующее падению трубы длиной 4 м (стандартная длина выпускаемых труб) с высоты 4 м (рис. 2, а), а при температуре минус 15 °С образцы разрушались при усилии, соответствующем падению с высоты 1 м (рис. 2 б). Простым подсчетом можно получить, что при температуре 0 °С усилие разрушения будет соответствовать падению с высоты не более 2,2 м.



Рисунок 2 – а) испытания при 22°С, б) испытания при минус 15°С

Испытания показали, что при понижении температуры ОВ уже до 0°С материал трубы становится настолько хрупким что, к появлению трещин могут привести даже небольшие деформации при незначительных прогибах труб и незначительное физическое воздействие может быть причиной ее разрушения. Таким образом, условия проведения погрузочно-разгрузочных работ и транспортирование необходимо ужесточить, т.е. ограничить условием не ниже 0 °С.

Во избежание повреждения труб при их погрузке, разгрузке и транспортировании трубы в неотапливаемом складе должны храниться небольшими партиями, завернутыми в теплоизоляционный материал (контейнер) с фиксацией к жесткому основанию. Теплоизоляция позволит перед погрузкой и транспортированием произвести подогрев труб в контейнере до температуры допустимой для транспортировки. Подогрев осуществляется следующим образом. К контейнеру с трубами с одной стороны с использованием тепловой пушки подается нагретый воздух, который откачивается с другой стороны контейнера насосом. Максимальная температура нагретого воздуха составляет 95°С (рабочая температура ПП трубы). Для экономии энергии поток воздуха можно закольцевать (рис. 3). После подогрева погрузка, транспортирование и разгрузка труб осуществляются в контейнере. Перед разгрузкой трубы так же подвергаются подогреву.

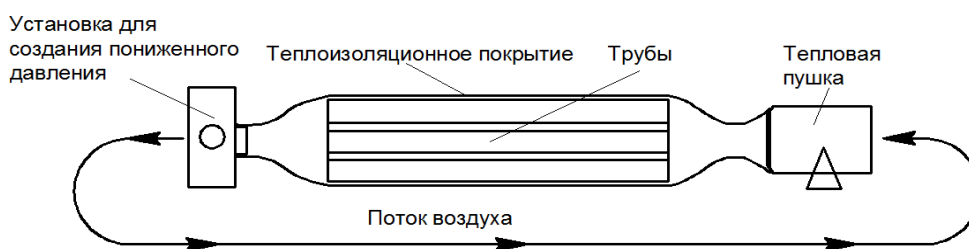


Рисунок 3 – Схема прогрева ПП труб перед погрузкой разгрузкой и транспортированием

Продолжительность подогрева ПП труб зависит от многих факторов таких как: температура окружающего и подаваемого нагретого воздуха, скорость потока воздуха в трубах, время, затрачиваемое на погрузку, разгрузку и транспортирование, скорость движения транспортного средства, толщину теплоизоляционного слоя контейнера, его теплофизические свойства и т. д. В ИПНГ СО РАН создана методика расчетов продолжительности подогрева ПП труб перед погрузкой, разгрузкой и транспортированием в условиях низких температур ОВ, которая учитывает все эти факторы [2]. На основе этих расчетов была создана и зарегистрирована программа для расчета продолжительности подогрева ПП труб перед погрузкой, разгрузкой и транспортированием - DurHeatTrans [3]. Программа позволяет также рассчитать максимально возможные продолжительности транспортирования при низких температурах ОВ в теплоизоляционном контейнере труб различного типоразмера до достижения на внешней поверхности труб температуры – 10 °С. В данной программе условие определения продолжительности транспортирования при низких температурах может легко изменено на 0 °С.

Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ №122011100162-9, FWRS-2021-0004 с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН, грант №13. ЦКП. 21.0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СП 40-101-96 Свод правил по проектированию и монтажу трубопроводов из полипропилена «Рандом сополимер» = Set of rules for the design and installation of polypropylene pipelines "Random copolymer": Принят и рекомендован письмом Главтехнормирования Минстроя России от 9 апреля 1996 г. № 13/214; введен впервые: дата введения 9 апреля 1996-04-09 / подготовлен ЗАО НПО Стройполимер. – Москва 1996. – с. 9
2. Старостин, Н.П. Расчетное определение продолжительности подогрева полипропиленовых труб для транспортирования при низких температурах [Текст] / Н.П. Старостин, М.А Васильева // Вестник МАХ. – 2016. – №. 4. – С. 53–57.
3. База данных РФ 2015661105. DurHeatTrans – Расчет продолжительности подогрева полипропиленовых труб для погрузки, транспортировки и разгрузки при низких температурах [Текст] / Н.П. Старостин, М.А. Васильева, Г.В. Ботвин; заявитель ФГБУН ИПНГ СО РАН. – № 2015617862; заяв. 27.08.2015.; Оpubл. 16.10.2015.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРОБЕТОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Васильев А.С.¹, Андреева А.А.², Саввинова М.Е.²

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

vas301198@gmail.com

“PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SULFUR CONCRETE MATERIALS”

Для развития строительной индустрии арктических и северных территорий Российской Федерации необходимо создание инновационных строительных материалов и технологий, использование которых позволит повысить долговечность и работоспособность сооружений и конструкций.

Большую практическую значимость имеет исследование влияния активации ингредиентов на свойства серобетона, которое может способствовать разработке более эффективных строительных материалов.

В качестве исходного сырья были выбраны сера техническая, цеолит Кемпендяйского месторождения Республики Саха (Якутия) из наиболее освоенного пласта III (Хонгуриин III) и известняковый отсев из карбонатных пород Сасаабытского месторождения Республики Саха (Якутия).

Сера техническая. В качестве вяжущего была выбрана техническая сера, соответствующая ГОСТ Р 56249–2014.

Природный цеолит. В качестве тонкодисперсного наполнителя использовали порошки из природного цеолита Кемпендяйского месторождения Республики Саха (Якутия) из наиболее освоенного пласта III (Хонгуриин III), который представляет собой природный минерал, со структурой, напоминающей тонкопористую губку, содержание клиноптилолита в котором составляет 75-90 %. Кемпендяйский цеолитоносный район крупнейший на территории Якутии и имеет запасы около 3,5 млрд. тонн сырья.

Известняковый отсев. В качестве заполнителя был использован известняковый отсев. Из него можно изготавливать смеси невысоких марок. Известняковый отсев представляет собой смесь мелких фракций диаметром от 5 мм до 0,05 мм.

Измельчение цеолита носит активационный характер. В ходе помола возрастает удельная поверхность, а с ней и степень кристалличности продукта. В то же время, чем выше последний показатель, тем лучше сорбционные свойства материала. Кроме того, в ходе активации нецеолитные компоненты удаляются, а концентрация цеолитной фазы увеличивается. Отметим также, что от вида и интенсивности помола минерала зависит глубина структурных преобразований вещества.

Для активации цеолита использовали лабораторную планетарную мельницу АГО-2 производства ИХТТМ СО РАН (г. Новосибирск). Планетарные мельницы являются эффективными измельчительными аппаратами. Высокая скорость измельчения и активации в них обеспечивается центробежными силами, возникающими при вращении барабанов вокруг своей и общей оси. Они в десятки раз превышают силу тяжести, что позволяет во столько же раз уменьшить размеры мелющих тел без снижения их кинетической энергии. В течение 2 минут работы планетарной мельницы достигается такая же дисперсность, как после 10-12 ч работы обычной шаровой мельницы [10].

Состав образцов для исследования: сера техническая – 30 масс.%; природный цеолит – 3 масс.% (без активации, механически активированный в течение 1, 2, 3 и 5 минут); отсев – остальное.

Анализ результатов, полученных при исследовании плотности образцов серобетона, модифицированных механически активированным цеолитом показал, что плотность образцов с составом ЦА3 и ЦА5 выше на 4% и 3% по сравнению с исходными образцами.

Высокая плотность указывает на компактность структуры материала. Высокая плотность может обеспечить лучшую передачу механических нагрузок через материал. На основе полученных результатов можно предположить, что повышенная плотность серобетонных образцов будет способствовать повышению их прочности на сжатие.

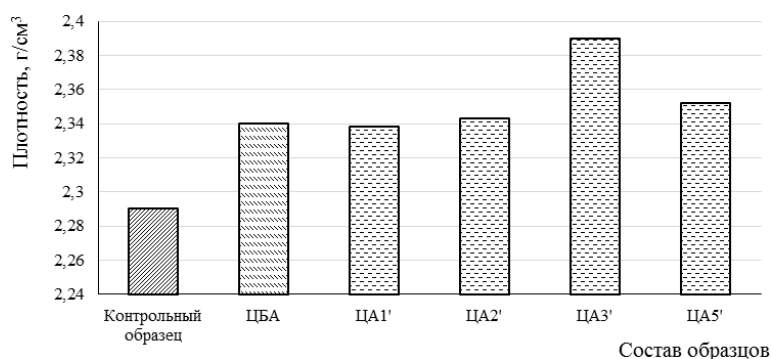


Рисунок 1 – Плотность серобетонных образцов с различной длительностью активации природного цеолита

Установлено, что прочность на сжатие серобетонных образцов, модифицированных мелкодисперсными порошками механически активированного природного цеолита, выше, чем прочность на сжатие контрольных образцов на 42 – 48 %. Высокие значения прочности при сжатии зафиксированы у образцов, содержащих 3 масс. % механически активированного цеолита в течение 3 мин. Результаты исследования на прочность на сжатие образцов коррелируют со значениями плотности.

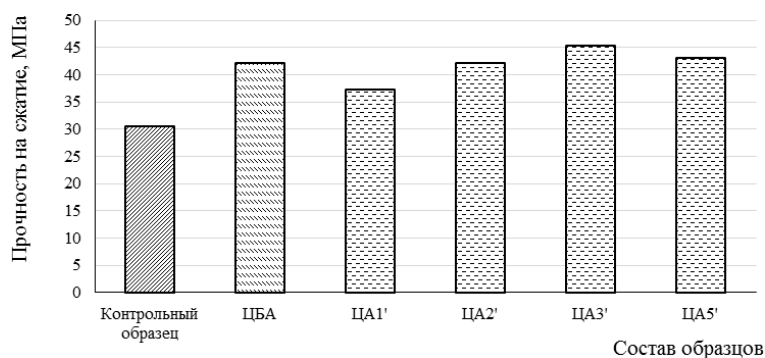


Рисунок 2 – Прочность на сжатие серобетонных образцов с различной длительностью активации природного цеолита

Установлено, что физико-механические свойства серобетонных образцов зависят от времени механической активации природного цеолита. Прочность при сжатии серобетонных образцов, модифицированных механоактивированным, в течение 3 минут, природным цеолитом, увеличивается на 42 – 48 %, а плотность – на 4% по сравнению с контрольными образцами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аввакумов, Е.Г. Механические методы активации в переработке природного и технического сырья [Текст] / Е.Г. Аввакумов, А.А. Гусев. – Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2009. – 155 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ И
МЕРКАПТОБЕНЗТИАЗОЛА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ
СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА**

Васильев А.П., Оконешникова А.В., Макаров И.С., Данилова С.Н., Дьяконов А.А.

СВФУ, Якутск, Россия

gtvap@mail.ru

“RESEARCH OF NANO-SIZED METAL OXIDES AND MERCAPTOBENZTHIAZOLE ON THE
PROPERTIES AND STRUCTURE OF ULTRA-HIGH MOLECULAR POLYETHYLENE”

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) широко применяются в различных узлах трения техники и технологического оборудования. Применяя разные способы модификации поверхности наполнителя можно усилить адгезионное взаимодействие на границе раздела фаз, что напрямую влияет на эксплуатационные свойства. Адгезия между ними может быть усилена за счет физико-химических взаимодействий и механического сцепления, либо того и другого. Физико-химический вклад в адгезию включает химическую связь, межмолекулярные взаимодействия и физическую адгезию. В то время как механическое сцепление осуществляется, когда полимерная матрица проникает в дефекты и неровности поверхности и механически фиксируется в нем [1]. Физико-химическое взаимодействие можно изменить путем включения соответствующих функциональных групп на поверхность наполнителя. Во многих случаях как физико-химическое, так и механическое сцепление работают одновременно, увеличивая степень межфазной адгезии между наполнителем и полимерной матрицей. Таким образом, наполнители должны прочно взаимодействовать с полимерной матрицей, тем самым усиливают деформационно-прочностные свойства. Исследования показали, что применение различных методов модификации поверхности наполнителя приводит к усилению адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз за счет механического сцепления, так и физико-химических взаимодействий [2, 3]. Благодаря этому улучшаются физико-механические и трибологические свойства композитов. Одним из способов, с целью повышения межфазного взаимодействия, является применение комбинации различных видов наполнителей, вводимых в СВМПЭ [4-6]. Введение 2-меркаптобензотиазола (МБТ) и оксидов металлов в сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) приводит к улучшению эксплуатационных свойств [5]. Исходя из этого, в данной работе использовали МБТ в качестве функциональной добавки, которую вводили вместе с наноразмерными оксидами: ZrO_2 , WO_3 , CuO и ZnO .

Образцы СВМПЭ и ПКМ для исследований получали методом горячего прессования: прессование проводили на гидравлическом прессе ПКМВ-100 («Импульс», Россия) при температуре 175 °С и давлении 10 МПа в течение 20 мин с последующим охлаждением до 80 °С под давлением. Изготавливали цилиндрические образцы с диаметром $10,0 \pm 0,05$ мм и высотой $20,0 \pm 1,0$ мм. Предварительно проводили ультразвуковую обработку в УЗ диспергаторе ИЛ100-6/4 (ИН-ЛАБ-Ультразвук, Россия) в течение 5 мин. Составы наполнителей при массовом содержании наполнителей 1 мас. %: СВМПЭ/МБТ/ CuO , СВМПЭ/МБТ/ ZnO , СВМПЭ/МБТ/ ZrO_2 и СВМПЭ/МБТ/ WO_3 .

Цель работы – разработка ПКМ на основе СВМПЭ, наполненного МБТ с наноразмерным оксидом меди после совместной механоактивации.

Физико-механические испытания проводили на разрывной машине Authograph AGS-J (Shimadzu). Результаты исследования деформационно-прочностных свойств показали повышение прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве на 43-50% и 26-27% по сравнению с исходным СВМПЭ. Напряжение при сжатии и твердость по Шору Д композитов повысилась на 41% и 11-15%,

соответственно. Повышение твердости ПКМ можно объяснить наличием наноразмерных оксидов металлов в полимерной матрице СВМПЭ, а также лучшим сцеплением гибридных наполнителей с полимером, что приводит к улучшению несущей способности.

Трибологические испытания проводили по схеме «палец-диск» в условиях сухого трения в универсальной машине трения УМТ-3 (СЕТР). Результаты трибологических исследований показали улучшение износостойкости ПКМ в 2-4 раза относительно ненаполненного СВМПЭ при сохранении низкого коэффициента трения. Исследование поверхности трения композитов методом сканирующей электронной микроскопии показали, что в СВМПЭ/МБТ/ ZrO_2 и СВМПЭ/МБТ/ WO_3 на изношенной поверхности образуются вторичные структуры из частиц МБТ, а в СВМПЭ/МБТ/ CuO формируется гладкий и практически полностью покрытый слой вторичной структуры и в СВМПЭ/МБТ/ ZnO такой слой имеет островной характер распределения. В ИК-спектрах композитов СВМПЭ/МБТ/ CuO и СВМПЭ/МБТ/ ZnO после трения зарегистрировано наличие полос поглощения в области $3200-3600\text{ см}^{-1}$ и $1596-1651\text{ см}^{-1}$, свидетельствующие о протекании трибоокислительных реакций при трении с образованием карбонильных и карбоксильных групп. В то же время в композитах СВМПЭ/МБТ/ ZrO_2 и СВМПЭ/МБТ/ WO_3 не наблюдаются появление пиков свидетельствующих о протекании окислительных реакций в процессе трения. Таким образом, получены материалы с улучшенным комплексом механических и трибологических свойств для применения в различных механизмах и узлах трения техники и технологического оборудования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-73-00076, <https://rscf.ru/project/22-73-00076/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Karger-Kocsis, J. Recent advances in fiber/matrix interphase engineering for polymer composites [Text] / J. Karger-Kocsis, H. Mahmood, A. Pegoretti // Progress in Materials Science. – 2015, – Vol. 73. – P. 1-43.
2. Wang, S. An effective surface modification of UHMWPE fiber for improving the interfacial adhesion of epoxy resin composites [Text] / S. Wang, J. Ma, X. Feng [et al] // Polymer Composites. – 2020. – Vol. 41, No.4. – P. 1614-1623.
3. Borisova, R.V. The Influence of Brominated UHMWPE on the Tribological Characteristics and Wear of Polymeric Nanocomposites Based on UHMWPE and Nanoparticles [Text] / R.V. Borisova, L.A. Nikiforov, A.M. Spiridonov [et al] // Journal of Friction and Wear. – 2019. – Vol. 40, No. 1. – P. 27-32.
4. Дьяконов, А.А. Исследование влияния серы, дифенилгуанидина и 2-меркаптобензтиазола на физико-механические свойства и структуру сверхвысокомолекулярного полиэтилена [Текст] / А.А. Дьяконов, С.Н. Данилова, А.П. Васильев [и др.] // Перспективные материалы. – 2020. – Т. 1. – С. 43-53.
5. Bhusari, S.A. HDPE/UHMWPE hybrid nanocomposites with surface functionalized graphene oxide towards improved strength and cytocompatibility [Text] / S.A. Bhusari, V. Sharma, S. Bose [et al] // Journal of the Royal Society Interface. – 2019. –Vol. 16, No. 150. – P. 20180273.
6. Azam, M.U. UHMWPE hybrid nanocomposite coating reinforced with nanoclay and carbon nanotubes for tribological applications under water with/without abrasives [Text] / M.U. Azam, M.A. Samad // Tribology International. – 2018. – Vol. 124. – P. 145-155.
7. Васильев, А.П. Износостойкость композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с комбинированным наполнением [Текст] / А.П. Васильев, С.Н. Данилова, А.А. Охлопкова [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2023. – Т. 89, №. 8. – С. 76-82.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИТА

Васильев С.В.

ФИЦ ЯНЦ СО РАН, ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

spira_ira_vas@mail.ru

“INFLUENCE OF THERMOELASTOPLASTIC FILLER ON IMPACT STRENGTH OF EPOXY COMPOSITE”

Для повышения и регулирования ударопрочности и трещиностойкости композитов на основе эпоксидных смол возможно посредством модификаций, направленные на изменение структуры

полимеров на различных уровнях и соответственно свойств. В литературе методы модификации [1-5] делят на три основные группы: химические, физико-химические и физические.

Чтобы повысить ударопрочность и трещиностойкость ПКМ на основе эпоксидных смол без катастрофического снижения жесткости и статической прочности, необходимо создавать полимеры сетчатой структуры с чередованием жестких и гибких участков с тем, чтобы в процессе отверждения упаковки цепей полимерной сетки гибкие ее участки составляли самостоятельную фазу, диспергированную в жесткой фазе и химически связанную с ней. Это достигается введением в связующие небольшие количества эластичного полимера, способного участвовать в формировании структуры сетчатого полимера. В данной работе рассмотрены исследования влияния модификатора термоэластопласта линейный бутадиен-стирольный (СБС Л 30-01 А) на ударопрочность реактопласта в диапазоне климатических температур (от 20 до -60°C).

Разработка составов проводилась на основе эпоксидной диановой смолы марки ЭД-20. В качестве отвердителя применялся отвердитель аминного типа – триэтилентетрамин (ТЭТА). Для сравнения был исследован пластификатор ДЭГ-1 эпоксидная алифатическая смола.

Модификатор СБС Л 30-01 А в виде гранул добавлялись в нагретую до $190-195^{\circ}\text{C}$ эпоксидную смолу в пропорциях 0,3, 0,5 и 0,7 % мас.ч. при постоянном перемешивании на высокоскоростной мешалке (~ 750 об /мин) до полного растворения в течение 3-х часов. Затем в композицию охлаждали при комнатной температуре в течении 24 часов. После при комнатной температуре добавлялся отвердитель (в соотношении 15 м.ч.). Композиции с отвердителем заливались в специальные формы и отверждались при комнатной температуре в течение 24 часов, затем при температуре 120°C в течение 3 часов. Контрольные испытания на ударную вязкость образцов проводились в диапазоне климатических температур: от минус 60 до плюс 20°C . Максимальное значение ударной вязкости образцов эпоксидного композита достигло при содержании 0,5 % масс.ч. модификатора и увеличение составило 64%. Для дальнейших исследований содержание модификатора 0,5% считается оптимальным.

Фрактографические исследования показали, что на микроуровне не произошло фазового разделения структуры, модифицированный композит выглядит однородным. Ручьистая структура фронта трещины характерна для хрупкого разрушения материалов, что наблюдается у не модифицированной эпоксидной матрицы. На поверхности разрушения модифицированной эпоксидной матрицы термоэластопластом СБС Л 30-01 А наблюдаются множественные ветвления развивающихся трещин. Это свидетельствует о том, что развитию трещины вследствие действия локализованных сдвиговых напряжений препятствует модифицированная структура эпоксидного композита. И в результате энергия, передаваемая на образец при ударном нагружении, диссипирует на структурных элементах модифицированного композита, следовательно, увеличивая работу разрушения.

Исследования ИК-спектра композита с модификатором показали, что на 1737 см^{-1} , появляется новый пик. Можно предположить, что эти полосы отражают валентные колебания вновь образовавшихся химических связей типа $\text{C}=\text{O}$. Появление пика при 2920 см^{-1} возможен колебаниями гидроксильно-водородных групп $\text{C}-\text{H}$. Увеличение интенсивности полос в диапазоне $3100-3500\text{ см}^{-1}$ обусловлено колебаниями гидроксильных групп, образующихся при раскрытии эпоксидного цикла. Появление новых пиков и увеличение интенсивности выше указанных полос поглощения доказывают наличие химического взаимодействия между компонентами, которые повлияли на повышение ударной вязкости у модифицированного композита [6-9].

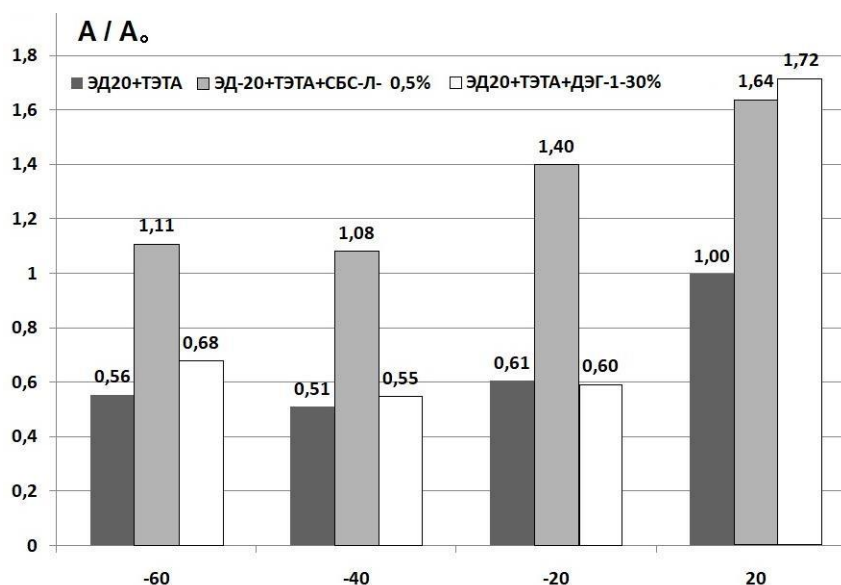


Рисунок 1 – Ударная вязкость образцов эпоксидного композита на основе ЭД-20, содержащего 0,5 масс. ч СБС Л 30–01А и 30% пластификатора ДЭГ-1 при температурах -60, -40, -20 и +20 °С

Из результатов ударных испытаний при различных температурах следует, что с понижением температуры у всех исследованных образцов наблюдается существенное уменьшение ударной вязкости рис. 1. Уменьшение ударной вязкости исследованных материалов при снижении температуры испытаний обусловлено процессом кристаллизации эпоксидной матрицы. Исследование показали, что эффект пластификации ДЭГ-1, в частности увеличение ударной вязкости при температуре +20 °С, постепенно сводится к минимуму при отрицательных температурах испытаний. Преимущество величины ударной вязкости модифицированного композита относительно немодифицированного сохраняется во всем диапазоне температур испытаний. Возможно, это связано с тем, что при введении СБС уменьшается склонность эпоксидного материала к кристаллизации, а также с тем, что СБС сохраняет подвижность макромолекул при низких температурах и тем самым продолжает диссипировать энергию, передаваемую образцу при ударном воздействии препятствуя процессу распространения трещин.

Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ №122011100162-9 с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Осипов, П.В. Регулирование свойств наполненных эпоксидных олигомеров [Текст] / П.В. Осипов, В.С. Осипчик, С.А. Смотрова, Д.Н. Савельев // Пластические массы. – 2011. – №. 4 – С. 3–5.
- Плакунова, Е.В. Структура и свойства эпоксидных термореактопластов [Текст] / Е.В. Плакунова, Е.А. Татаринцева, А.С. Мостовой, Л.Г. Панова // Перспективные материалы. – 2013. – № 3. – С. 57–62.
- Федосеев, М.С. Термомеханические и адгезионные свойства полимерных материалов, полученных отверждением модифицированной эпоксидной смолы [Текст] / М.С. Федосеев, Л.Ф. Державинская, Р.В. Цветков // Перспективные материалы. – 2014. – №. 4. – С. 30–36.
- Ширшова, Е.С. Изучение влияния модификаторов на свойства эпоксидных композиций [Текст] / Е.С. Ширшова, Е.А. Татаринцева, Е.В. Плакунова, Л.Г. Панова // Пластические массы. – 2006. – № 12. – С. 34–36.
- Kumar, R. Study of mechanical properties of wood dust reinforced epoxy composite [Text] / R. Kumar, K. Kumar, P. Sahoo, S. Bhowmik // Procedia Materials Science. – 2014. – Vol. 6. – P. 551-556.
- Дятлов В.А. Применение ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием для исследования полимеров [Текст] / В.А. Дятлов, С.Н. Филатов. – М.: РХТУ, 2011 – 60 с.
- González, M.G. Applications of FTIR on epoxy resins-identification, monitoring the curing process, phase separation and water uptake [Text] / M.G. González, J.C. Cabanelas, J. Baselga // Infrared spectroscopy-materials science, engineering and technology. – 2012. – Vol. 2. – P. 261-284.

8. Вострокнутова, Е.В. Определение массовой доли эпоксидных групп в эпоксидных смолах марок ЭД-20 и ЭД-16 методом спектроскопии в ближнем ИК-диапазоне [Текст] / Е.В. Вострокнутова, В.М. Голик, А.В. Сапрыгин, М.А. Ябуров // Аналитика и контроль. – 2011. – Т. 15, №. 4. – С. 463-469.
9. Комар, Л.А. Молекулярно-массовое распределение промежуточных продуктов реакции отверждения эпоксидного композита [Текст] / Л.А. Комар, А.Л. Свистков, А.В. Кондюрин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. – 2014. – Т. 6, №. 3. – С.17-28.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЛАБО ОКИСЛЕННОГО ГРАФЕНА, СИНТЕЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ РАСЩЕПЛЕНИЕМ ГРАФИТА

Васильева Ф.Д., Смагулова С.А.

СВФУ, Якутск, Россия

Dorush21@mail.ru

«SYNTHESIS OF MILDLY OXIDIZED GRAPHENE OXIDE BY ELECTROCHEMICAL EXFOLIATION OF GRAPHITE»

Водные суспензии слабо окисленного графена перспективны для создания графеновых пленок с высокой проводимостью и хорошим качеством [1,2]. Нами разработана технология синтеза суспензий слабо окисленного графена (СОГ) электрохимическим методом расщепления графита в водном растворе неорганической соли в сочетании с ультразвуковой обработкой. Электрохимическое расслоение графита проводили в электролите на основе водного раствора сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Этот электролит был выбран из-за того, что сульфат (SO_4^{2-}) анионы показывают высокую эффективность для расслоения графита по сравнению с другими анионами (Cl^- , NO_3^- , ClO_4^-) из-за их сходного размера с межслоевым расстоянием графита и обладают низким восстановительным потенциалом (+0,20 В), что приводит к быстрому образованию газообразных молекул (SO_2 , O_2), которые способствуют расслоению графита. Реакцию электрохимического расслоения проводили в лабораторном стеклянном сосуде, в котором был электролит с определенной концентрацией. Два электрода были помещены в электролит, а глубина погружения составляла 20 мм. В качестве катода использовалась золотая фольга шириной 5 мм и толщиной 0.1 мм. В качестве анода использовался графитовый электрод марки ЭСА-16, как источник графита для суспензий. Между анодом и катодом, находящимися на расстоянии 20 мм друг от друга, прикладывали напряжение 15 В. Рассчитанная плотность тока составила 146 мА/см². Реакция расслаивания графита продолжалась 15 минут с выходом слабо окисленного графена 2.13 мг/мин.

Толщина и латеральные размеры отдельных чешуек СОГ были измерены с помощью атомно-силового микроскопа. Большинство чешуек СОГ имеют латеральные размеры ~ 0.1 мкм и небольшое количество чешуек имеют размеры в интервале 0.2 – 0.6 мкм (рис.1.).

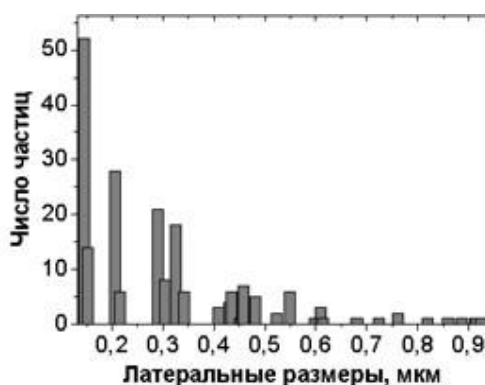


Рисунок 1 – Распределение отдельных частиц СОГ по размерам

Снимок отдельных чешуек СОГ, полученные с помощью атомно силового микроскопа и их профиль поперечного сечения, представлены на рис. 2. Толщины отдельных чешуек СОГ варьировались от 0.4 до 2.0 нм.

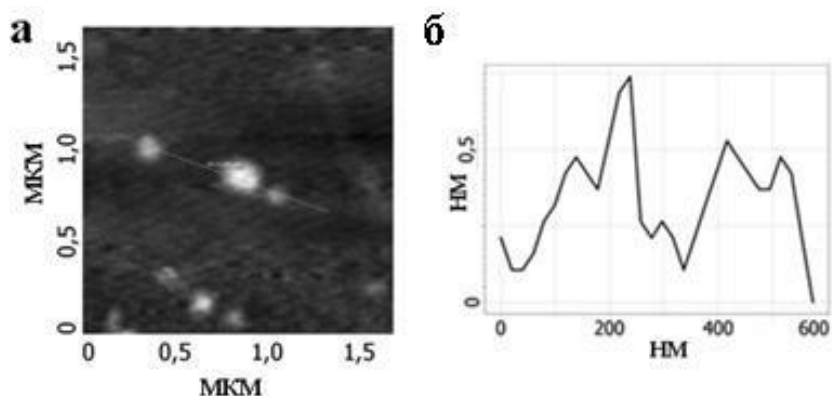


Рисунок 2 – АСМ изображение и профиль поперечного сечения отдельных чешуек СОГ

Количество атомов кислорода в пленках СОГ оценивалось из результатов элементного анализа. Снимок сканирующего электронного микроскопа и спектр энерго-дисперсионного анализа пленки СОГ показаны на рис. 3.

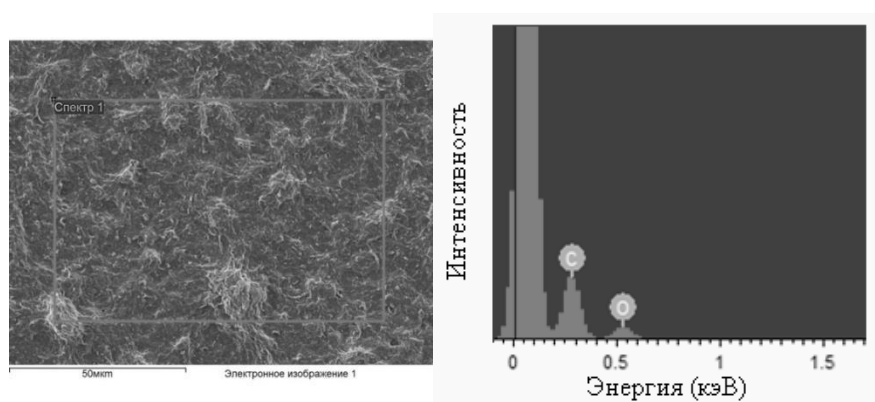


Рисунок 3 – Снимок СЭМ и спектр энерго-дисперсионного анализа пленки СОГ

В пленках, полученных из суспензии СОГ, содержание атомов кислорода составило ~ 20%, а углерода ~ 80%.

Благодаря наличию кислородных функциональных групп пленки СОГ являются диэлектриками с запрещенными зонами [3]. Величины запрещенных зон были определены оптическим методом, используя спектры поглощения пленок СОГ в синей и ультрафиолетовой областях спектра (рис. 4).

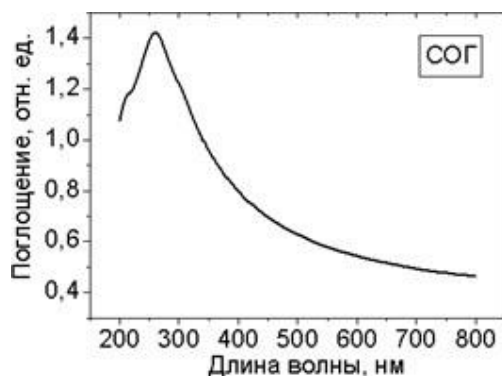


Рисунок 4 – Спектр поглощения водной суспензии слабо окисленного графена

Для слабо окисленного графена ширина запрещенной зоны E_g составила ~2.7 эВ. Пленки, полученные из суспензии СОГ, имели поверхностное сопротивление порядка $10^6 \text{ Ом}/\square$.

Таким образом, разработан оригинальный метод синтеза слабо окисленного графена электрохимическим расщеплением графита в водном растворе сульфата аммония в сочетании с ультразвуковой обработкой. Этот метод позволил получить за короткое время чешуйки СОГ с малыми

толщинами (до 2 нм), с латеральными размерами порядка 0.1 мкм, с содержанием атомов кислорода ~20% и поверхностным сопротивлением $8,8 \times 10^5$ Ом/□.

Работа выполнена при финансовой поддержке гос. задания FSRG-2023-0026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Parvez, K. Exfoliation of Graphite into Graphene in Aqueous Solutions of Inorganic Salts [Text] / K. Parvez [et al.] // Journal of the American chemical society. – 2014. – Vol. 136. – P. 6083–6091.
2. Vasilieva, F.D. Mildly oxidized graphene oxide suspension for printing technologies [Text] / F.D. Vasilieva, A.N. Kapitonov, E.A. Yakimchuk, S.A. Smagulova, I.V. Antonova, I.A. Kotin // Materials Research Express. – 2018. – Vol. 5, Is. 6. – № 065608. – P. 15.
3. Васильева, Ф.Д. Определение ширины запрещенной зоны оксид-графеновой бумаги по краю фундаментального поглощения [Текст] / Ф.Д. Васильева, А.Н. Капитонов // Новые материалы и технологии в условиях Арктики: материалы международного симпозиума. Якутск, 25–27 июня 2014 г. – Якутск, 2014. – С. 261–264.

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ УКЛАДКИ УГЛЕВОЛОКОН НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

Винокуров А.А.¹, Туисов А.Г.²

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИФТИС СО РАН, Якутск, Россия

artibbou7@gmail.com

“THE INFLUENCE OF THE DIRECTION OF LAYING CARBON FIBERS ON THE ELASTIC-STRENGTH PROPERTIES OF THE ELASTOMERIC MATRIX”

Создание композиционных материалов обладающих уникальными свойствами является актуальной задачей для исследователей и разработчиков. Известны работы по созданию композитов путем введения дисперсных наполнителей и высокомодульных армирующих тканей в различные полимерные матрицы, а также создание комбинированных материалов, обладающих различными свойствами с разных сторон [1-3]. Одним из актуальных новых материалов является разработка композитов с регулируемыми свойствами в зависимости от направления прикладываемого усилия.

Укладка ориентированных высокомодульных волокон в эластомерной матрице может привести в одном направлении к увеличению сопротивления сдвиговой деформации, снижению относительного удлинения и увеличение предела прочности при растяжении, с другого направления сохраняя эластические свойства эластомера. Из работы [4] известно, что поверхностная обработка базальто-, стекло и угле- волокон праймером и клеем Хемосил приводит к увеличению их адгезии с эластомером.

В работе приведены исследования влияния направления укладки углеволокон (УВ) марки 2/2-1000-12К-400 (Препрег-СКМ, Россия) (ТУ 1916-038-38276489-2016) в эластомерной матрице на основе бутадиен-нитрильного каучука марки БНКС-18 АМН с содержанием 17-20% нитрила акриловой кислоты (Сибур, Россия). В табл. 1 приведена рецептура исследуемой резиновой смеси и время введения ингредиентов.

Таблица 1 – Рецептура стандартной резиновой смеси на основе БНКС-18 АМН

№	Ингредиенты	масс.ч.	время введения, мин
1	БНКС-18 АМН	100,0	0
2	Стеариновая кислота	2,0	0
3	Технический углерод N550	50,0	2
4	ДБФ	10,0	2
5	Оксид цинка	5,0	5
6	Каптакс	1,5	10
7	Сера	2,0	12
	Итого:	170,5	20

На рис. 1 представлена укладка поверхностно обработанных углеволокон в эластомерную матрицу на основе БНКС-18 АМН. Перед укладкой УВ обрабатывались праймером хемосилом 211 (Lord, Германия) и после этого сушились в термошкафу ES4610 (ЭКРОСХИМ, Россия) в течение 15 мин при

45 °С. Далее на обработанной праймером поверхности наносили клей хемосил 411 (Lord, Германия) и высушивали в термощкафу при тех же параметрах. Поверхностная обработка УВ осуществлялась для увеличения адгезионного взаимодействия с эластомерной матрицей.

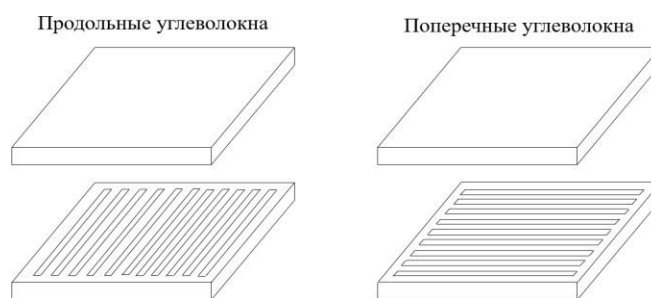


Рисунок 1 – Продольная и поперечная укладка углеволокон

Определение упруго-прочностных свойств проводилось на разрывной машине Autograph AGS-J (Shimadzu, Япония) при скорости перемещения зажимов 500 мм/мин согласно стандарту ISO 37-2020.

Результаты испытания относительного удлинения и условной прочности при разрыве исходного эластомера и эластомерных композитов в зависимости от направления укладки УВ приведены на рис. 2.

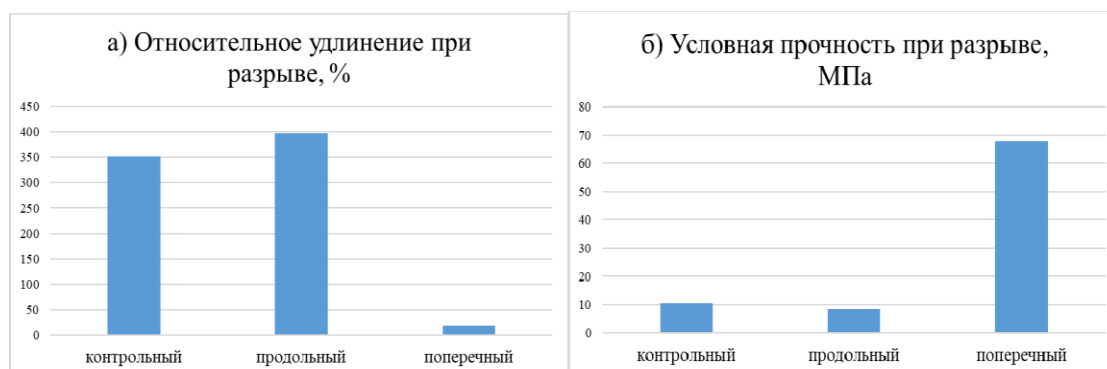


Рисунок 2 – Диаграммы испытания относительного удлинения при разрыве (а) и условной прочности при разрыве (б)

Испытание на растяжение эластомерного композита с продольной укладкой показало максимальное значение относительного удлинения на разрыве, которое составило 397% (рис. 2, а). Образец с продольной укладкой УВ на 50% больше удлиняется по сравнению с контрольным эластомером и в 20 раз больше эластомерного композита с поперечной укладкой волокон. При поперечной укладке УВ в эластомерную матрицу условная прочность при разрыве имеет наибольшее значение, составляющее 67 МПа (рис. 2, б), что примерно в 6 раз больше контрольного образца.

Таким образом, ориентированная укладка УВ в эластомерную матрицу позволяет создавать материал с регулируемыми свойствами в зависимости от прилагаемого усилия за счет высокой удельной прочности в одном направлении и сохранять эластичные свойства с другой.

Научный руководитель – к.т.н. Дьяконов А.А.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № FSRG-2021-0016 и FWRS-2022-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилова, С.Н. Разработка износостойких полимер-полимерных композиционных материалов на основе СВМПЭ [Текст] / С.Н. Данилова, С.Б. Ярусова, А.А. Охлопкова. [и др.] // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2020. – №. 25(3). – С. 130-142.
2. Зимин, Д.Е. Наномодификация эпоксидного связующего для создания базальтопластика с улучшенными эксплуатационными свойствами [Текст] / Д.Е. Зимин, О.С. Татаринцева, А.К. Кычкин // Ползуновский вестник. – 2013. – №. 3. – С. 282-285.
3. Дьяконов, А.А. Исследование влияния дифенилгуанидина на адгезионное взаимодействие

эластомеров со сверхвысокомолекулярным полиэтиленом [Текст] / А.А. Дьяконов, Н.В. Шадрин, М.Д. Соколова [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2019. – №. 12(4). – С. 476-487.

4. Копырин, М.М. Обработка поверхности армирующего наполнителя из углеродного волокна для повышения адгезии с бутадиеновым эластомером [Текст] / М.М. Копырин, А.Е. Марков, А.А. Дьяконов [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2023. – №. 16(4). – С. 450-460.

ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА 6PPD НА СТОЙКОСТЬ РЕЗИН К СТАРЕНИЮ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И УГЛЕВОДОРОДНЫХ СРЕД

Давыдова М.Л., Федорова А.Ф., Халдеева А.Р.
ФИЦ ЯНЦ СО РАН, ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

davmlar@mail.ru

“INFLUENCE OF 6PPD STABILIZER ON RUBBER AGING RESISTANCE UNDER INFLUENCE OF NATURAL CLIMATIC FACTORS AND HYDROCARBON ENVIRONMENTS”

Известно, что в процессе эксплуатации резинотехнические изделия подвергаются тепловому, механическому, световому, окислительному, озонному, радиационному воздействиям, а также воздействию агрессивной среды и т.п. Под их воздействием происходит негативное влияние на физико-механические и эксплуатационные свойства резиновых изделий, сокращающее срок их службы вследствие протекания окислительных процессов. Такие необратимые изменения структуры резин (полимеров) называются старением [1-4].

С целью повышения стойкости к старению в рецептуру резиновых смесей вводят специальные химические вещества – стабилизаторы, замедляющие процессы деструкции и излишнего структурирования макромолекул каучука и вулканизационной сетки резины. Они должны обладать высоким эффективным действием, хорошей растворимостью в каучуках, нелетучестью, нетоксичностью и т.д. [4-6].

В представляемой работе приведены результаты натурных испытаний климатической устойчивости и исследования стойкости к действию углеводородных сред (нефть Талаканского месторождения и гидравлическая жидкость марки И-50А) резин на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-18 и эпихлоргидринового каучука Hydrin T6000, содержащих в качестве стабилизатора широко применяемый в синтетических каучуках – 6PPD. Образцы экспонировали в течение года на открытом полигоне в естественных условиях воздействия климатических внешних факторов г. Якутска Республики Саха (Якутия), а также в среде нефти Талаканского месторождения и гидравлической жидкости И-50А в неотапливаемом помещении. Для определения стойкости резин к старению были измерены такие показатели образцов как условная прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, твердость и степень набухания.

В табл. 1 представлены результаты климатических испытаний резин. Для резины на основе БНКС-18 отчетливо виден вклад стабилизатора 6PPD в сохранении прочностных свойств при воздействии климатических факторов и агрессивных сред. Наиболее агрессивной средой для этих резин является нефть: степень набухания доходит до 29%. В среде гидравлической жидкости – до 8,1%. Это можно объяснить протеканием диффузионных процессов в системе «резина-нефть», приводящих к набуханию резины и уменьшению межмолекулярного взаимодействия макромолекул каучука [5] вследствие чего происходит снижение показателя условной прочности при растяжении.

Результаты исследования резины на основе Hydrin T6000 показали, что применение стабилизатора 6PPD в рецептуре резиновой смеси не приводит к сохранению физико-механических свойств как в натурных условиях экспозиции, так и в агрессивных средах в неотапливаемом помещении. Можно даже отметить о большем изменении показателей по сравнению с нестабилизированной резиной. В среде нефти также, как и в случае резины на основе БНКС-18 происходит повышение степени набухания, но меньшее в 1,6 раза (до 18%). Однако характер действия нефти на показатель условной прочности при растяжении противоположен действию к резине на основе БНКС-18: выдержанные в среде нефти образцы характеризуются наибольшей стабильностью условной прочности при растяжении.

Таким образом, по результатам исследования резин на стойкость к старению при воздействии естественных климатических факторов и углеводородных сред можно отметить высокий уровень

сохранения физико-механических свойств резины на основе БНКС-18, содержащей стабилизатор 6PPD. Наибольшую стойкость физико-механических свойств стабилизированная резина проявляет в среде гидравлической жидкости, что может предопределить применение изделий на ее основе в узлах, контактирующих в этой среде. Для резины на основе Hydrin T6000 аминный стабилизатор 6PPD не показал эффективного действия. Для повышения стойкости к старению необходимо будет провести подбор другого стабилизатора, с другим типом функциональной группировки. Следует отметить, что резина на основе эпихлоргидринового каучука может эксплуатироваться в контакте с нефтяной средой.

Таблица 1 – Изменение свойств резин на основе БНКС-18 и Hydrin T6000 при воздействии естественных климатических факторов и углеводородных сред

Условия и продолжительность экспозиции, мес	Марки каучуков	Изменение условной прочности при растяжении, %		Изменение относительного удлинения при разрыве, %		Изменение твердости по Шору А, у.е.		Степень набухания в рабочих средах, %	
		без стабилизатора /с 6PPD							
В воздухе после: 1 3 6	БНКС-18	-37,0	+2,5	-4,2	-11,6	+3	+3	-	-
		+9,7	+8,1	+31,7	-4,1	+3	+4		
		-34,4	+21,2	-19,1	-3,1	+4	+3		
	Hydrin T6000	+7,2	+25,3	-5,3	+13	+3	+1	-	-
		+30,1	+32,5	+7,3	+17,4	+6	+4		
		+15,6	+38,5	-7,1	+16,0	+5	+1		
В гидравлической жидкости после: 1 3 6	БНКС-18	-11,0	-17,4	+42,4	-4,6	+1	+1	+8,1	+4,9
		-14,3	-4,3	+22,6	+11,1	0	0	+6,9	+6,3
		+29,2	+3,1	+40,1	+7,5	0	0	+6,8	+6,7
	Hydrin T6000	+21,6	+27,7	+5	+24,5	+3	+1	+0,5	+0,1
		+36,1	+32,5	+19	+33,1	+4	+1	+0,4	+0
		+20,5	+33,7	+17	+23,4	+4	+2	+0,3	-0,1
В нефти после: 1 3 6	БНКС-18	-51,3	-33,5	+0,3	-15,7	-8	-7	+27,3	+26,6
		-37,7	-34,2	+7,7	-1,8	-8	-9	+28,5	+27,8
		-29,9	-29,2	+14,9	+1,5	-7	-10	+29,8	+29,2
	Hydrin T6000	0	-1,2	+36,1	+39,4	-5	-3	+18,3	+17,8
		+2,4	-1,2	+31,4	+37,3	-4	-7	+17,3	+16,7
		+2,4	+10,8	+18,2	+44,0	-4	-6	+17,0	+16,7

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Резниченко, С.В. Большой справочник резинщика. Часть 1. Каучуки и ингредиенты [Текст] / под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. – М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. – 744 с.
2. Пиотровский, К.Б. Старение и стабилизация синтетических каучуков и вулканизатов [Текст] / К.Б. Пиотровский, З.Н. Тарасова. – М.: Химия, 1980. – 264 с.
3. Зуев, Ю.С. Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях [Текст] / Ю.С. Зуев, Т.Г. Дегтева. – М.: Химия, 1986. – 263 с.
4. Махлис, Ф.А. Терминологический справочник по резине [Текст] / Ф.А. Махлис, Д.Л. Федюкин. – М.: Химия, 1989. – 400 с.
5. Нейман, Б.М. Старение и стабилизация полимеров / Б.М. Нейман. – М.: Наука, 1964. – 331с.
6. Архиреев, В.П. Старение и стабилизация полимеров [Текст] / В.П. Архиреев. – Казань: Казанский государственный технологический университет, 2002 г. – 88с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА

Данзанова Е.В., Ботвин Г.В., Петров Д.Д.

ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия

Dhv4071@mail.ru

«STUDY OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF WELDED JOINTS OBTAINED AT DIFFERENT AMBIENT AIR TEMPERATURES»

При различных температурах окружающего воздуха (ОВ) от минус 47 °С до плюс 23 °С была проведена сварка полиэтиленовых труб с помощью муфт с закладным нагревателем. При температурах ниже 15 °С сварка производилась разработанной в ИПНГ СО РАН технологией. Суть разработанной технологии заключается в применении предварительного подогрева, остывания для выравнивания температурного поля и управляемого охлаждения сварного соединения. Параметры сварки были получены расчетным путем [1]. Параметры были рассчитаны так, чтобы тепловой процесс сварки в сварном соединении проходил как в условиях допустимых температур ОВ. На рис. 1 показан процесс сварки полиэтиленовых труб ПЭ100 SDR 11 110×10.

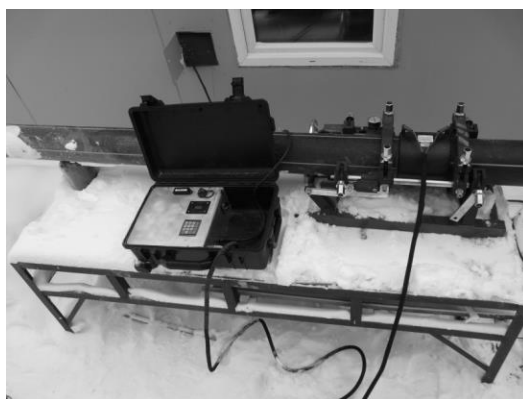


Рисунок 1 – Сварка при температуре ОВ ниже минус 15 °С

Полученные сварные соединения были испытаны на отрыв растяжением по методике, приведенной в ISO 13954. Результаты приведены на рис. 2.

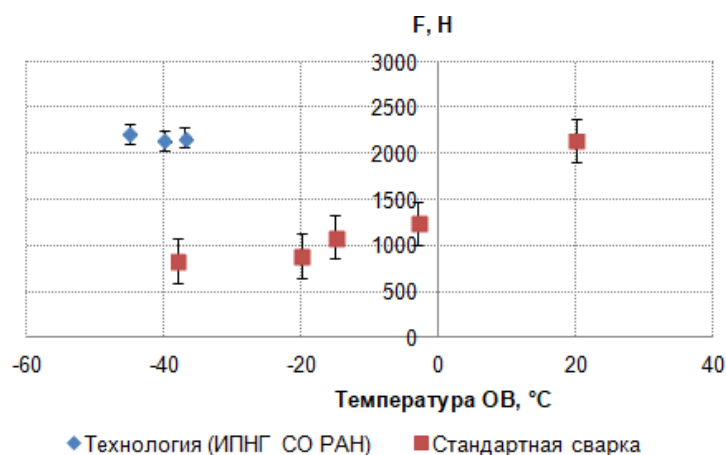


Рисунок 2 – Результаты испытаний сварных соединений на отрыв растяжением

Сравнительный анализ полученных данных максимальной разрывной нагрузки показал, что прочность сварных соединений, полученных при низких температурах разработанной технологией не ниже показателей соединений стандартной сварки при допустимых температурах.

Кроме механических испытаний была исследована структура, сформировавшаяся в материале сварных соединений с помощью электронного сканирующего микроскопа Hitachi tm4000 plus. Области сканирования располагались на расстоянии около 2 мм от нагревательной спирали со стороны муфты и трубы, то есть в зоне термического влияния (ЗТВ). На рис. 3 приведены наиболее характерные

фрагменты для исследованных участков со стороны муфты.

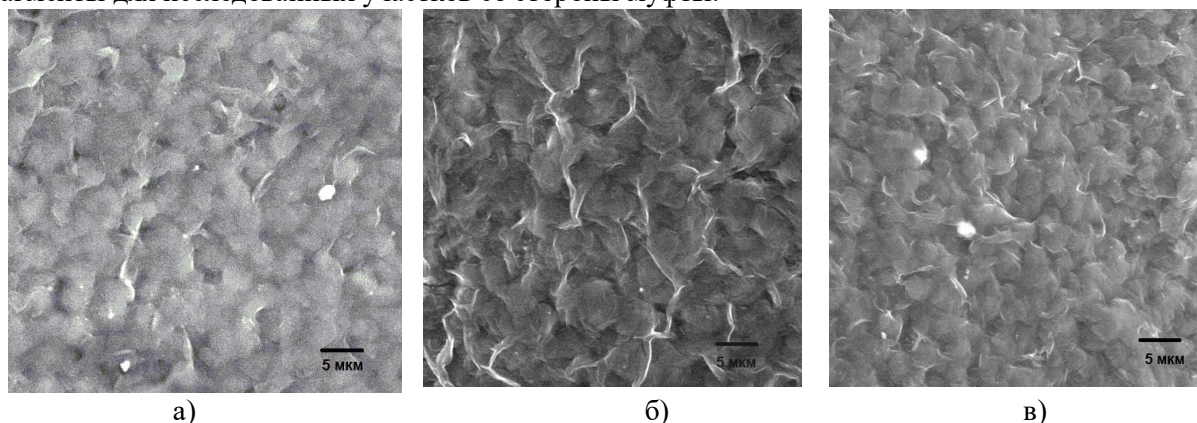


Рисунок 3 – Структура материала в ЗТВ сварного соединения со стороны муфты, выполненного в следующих условиях: а) при $T_{об} = \text{минус } 40 \text{ }^\circ\text{C}$ стандартной сваркой; б) при $T_{об} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ стандартной сваркой; в) при $T_{об} = \text{минус } 40 \text{ }^\circ\text{C}$ технологией ИПНГ СО РАН

Анализ рисунков показал, что в структуре материала со стороны муфты сварных соединений, выполненных при температуре ОВ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ преобладают образования размерами около 5 мкм . При низких температурах разработанной технологией структура материала однородная с образованиями размерами 4 мкм . Стандартной сваркой при низких температурах воздуха в материале муфты сварных соединений формируется структура с образованиями 3 мкм меньше. На рис. 4 приведены микроснимки структуры материала сварных соединений со стороны трубы на таком же расстоянии от нагревательной спирали.

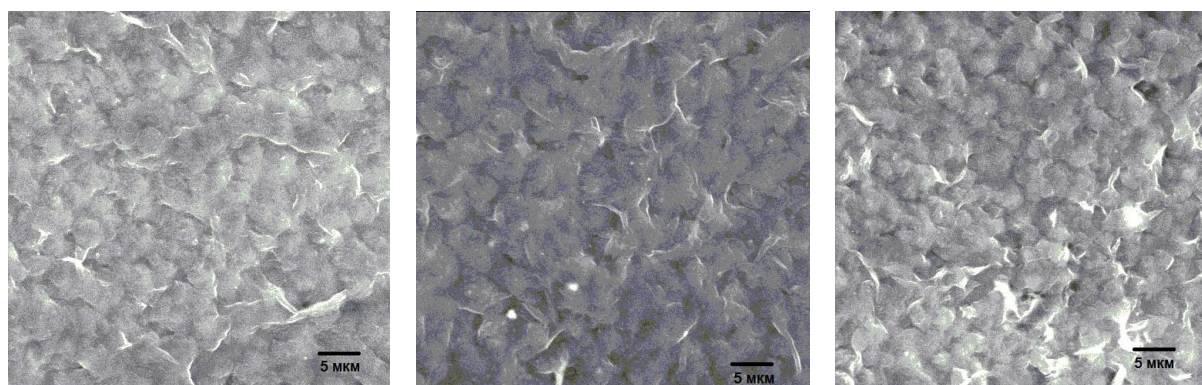


Рисунок 4 – Структура материала в ЗТВ сварного соединения со стороны трубы, выполненного в следующих условиях: а) при $T_{об} = \text{минус } 40 \text{ }^\circ\text{C}$ стандартной сваркой; б) при $T_{об} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ стандартной сваркой; в) при $T_{об} = \text{минус } 40 \text{ }^\circ\text{C}$ технологией ИПНГ СО РАН

Анализ микроснимков показал, что образования размерами около 2 мкм преобладают в структуре сварных соединений, полученных при низких температурах стандартной сваркой. В материале сварных соединений, выполненных при низких температурах по технологии ИПНГ СО РАН в основном размеры образований $3\text{-}4 \text{ мкм}$. В условиях стандартной сварки при температуре ОВ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ в материале сварных соединений формируется структура с образованиями размерами около 5 мкм .

Проведенные испытания муфтовых сварных соединений на отрыв растяжением показали эффективность разработанной в ИПНГ СО РАН технологии сварки с предварительным подогревом и управляемым охлаждением. Исследованиями структуры материала сварных соединений, сформированной в процессе сварки, показано, что разработанной технологией при низких температурах воздуха достигается такое же структурообразование в материале как в условиях комнатных температур стандартной сваркой.

Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ №122011100162-9, FWRS-2021-0004 с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН, грант №13. ЦКП. 21. 0016.

ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ И ВОЛЛАСТОНИТА

Данилова С.Н.¹, Ярусова С.Б.², Охлопкова А.А.¹, Гордиенко П.С.²

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИХ ДВО РАН, Владивосток, Россия

dsn.sakhayana@mail.ru

“TOPOGRAPHY OF THE FRICTION SURFACE OF COMPOSITES BASED ON UHMWPE AND WOLLASTONITE”

Антифрикционные материалы являются ключевым элементом в технике и автотранспорте, обеспечивающим долговечность и надежность работы техники во время эксплуатации. Одним из перспективных полимерных матриц для изготовления антифрикционных материалов является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), который обладает хорошими самосмазывающими свойствами. Для разработки износостойких полимерных композиционных материалов (ПКМ) антифрикционного назначения необходимо комплексное исследование трибологических свойств, в том числе исследование топографии поверхности трения и оценка его шероховатости. Одним из методов исследования топографии (литографии) поверхности материалов является атомно-силовая микроскопия (АСМ).

В качестве полимерной матрицы использовали СВМПЭ марки GUR 4022 (Celanese, Китай) с молекулярной массой 5 млн. г/моль и со средним размером частиц 125 мкм. В качестве наполнителя использовали волластонит, полученный из гидрометасиликата кальция, синтезированного низкотемпературным методом в растворе (20 °С) в модельной системе $\text{CaCl}_2\text{-Na}_2\text{SiO}_3\text{-H}_2\text{O}$, с последующим обжигом в интервале температур 900-1000 °С. Волластонит, полученный в вышеуказанных условиях, состоит из агломерированных пористых частиц овальной формы с размерами от 10 до 50 мкм. Топографию поверхности трения исследовали на АСМ NTegraPrima (NT-MTD, Россия) в режиме полуконтактного сканирования с использованием контилевера NSG-10 с резонансной частотой 140–390 кГц и с силовой константой 3.1–37.6 Н/м. Масштаб сканирования составил 50–50 мкм.

Топографии поверхностей трения исходного СВМПЭ и ПКМ, содержащего волластонит, приведены на рис. 1-2.

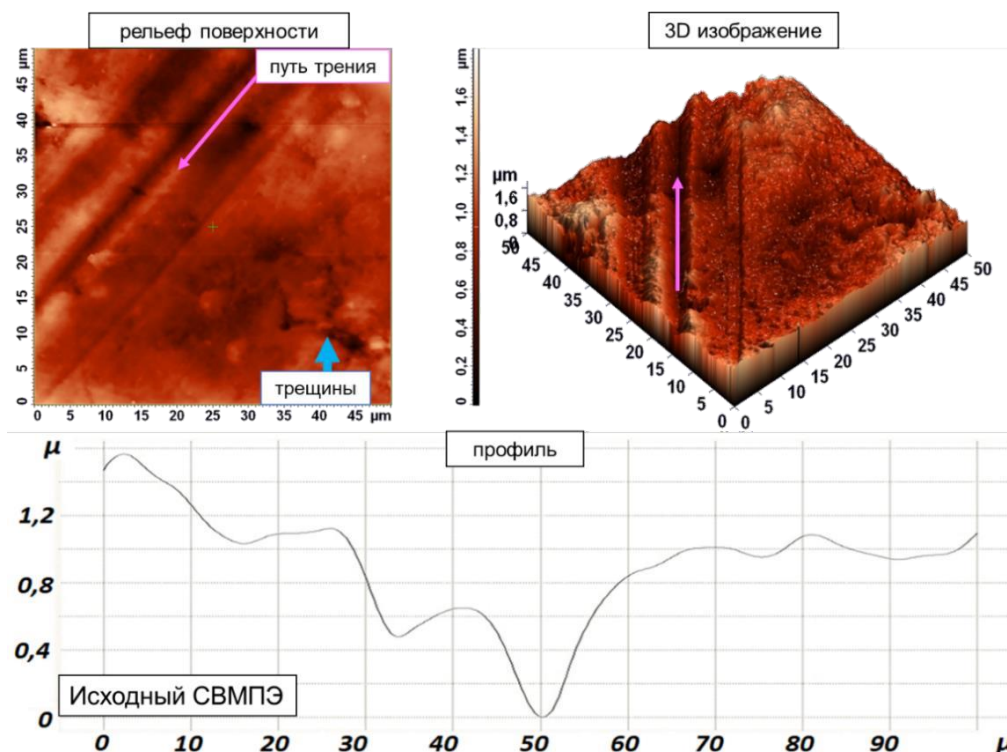


Рисунок 1 – АСМ-изображение и профиль поверхности трения исходного СВМПЭ

На поверхности трения ПКМ исходного СВМПЭ видны канавки трения с высотой равной 1,4 мкм. Известно [1], что канавки образуются в результате пластической деформации матрицы с последующим нарастанием механических гистерезисных потерь в приповерхностном слое, так называемый

абразивный износ шероховатой поверхностью стального контртела (микрорезание выступами), а выступающие области формируются за счет адгезионного износа. Помимо бороздок на поверхности зарегистрированы микронеровности в виде ямок и впадин, образующихся за счет сопротивления материала к изнашиванию. Далее морфология поверхности трения СВМПЭ формируется за счет многократного повторения таких процессов, при этом образуется равновесная шероховатость поверхности трения, которая сильно отличается и не зависит от исходной шероховатости контактирующих тел [2].

Исходя из результатов исследований поверхности трения ПКМ методом АСМ обнаружено (рис. 2), что поверхности трения характеризуются большим углублением на профилограмме по сравнению с исходным СВМПЭ. Поверхность трения ПКМ, содержащего 1 мас.% волластонита, имеет выраженные участки с наплывами и наличие микротрещин, что указывает на усталостный механизм изнашивания. Помимо этого, видно, что высота выступов достигает ~1,9 мкм, при этом на его поверхностях сконцентрированы мелкие продукты износа и выкрошенные частицы волластонита.

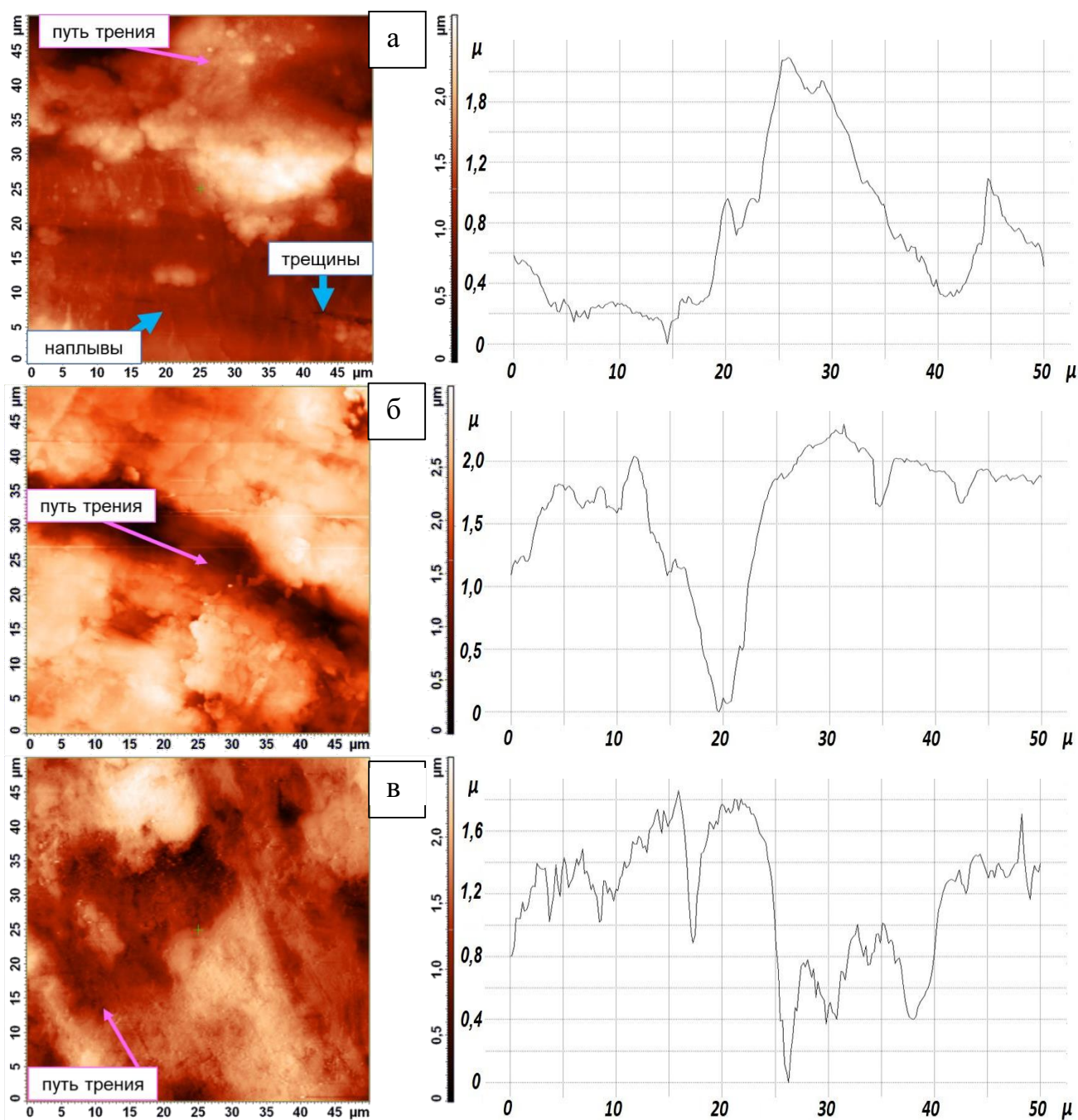


Рисунок 2 – АСМ-изображения поверхности трения композитов, наполненных волластонитом:

(а) 1 мас. %; (б) 5 мас.%; (в) 20 мас.%

На микрофотографиях композита СВМПЭ/5 мас.% волластонита наблюдалось формирование по всей поверхности вторичных структур, которые зафиксировали на АСМ-изображении. По топографии видно, что вторичная структура заполняет пустое пространство в зоне меньшего контакта, тогда как на выступах контртела сохраняется абразивный механизм трения. Если вторичная структура формируется в достаточном объёме, то будет уменьшаться контакт между выступами контртела с материалом. Поэтому в профилограмме глубина канавки достигает 2,4 мкм. Композит, содержащий 20 мас.% волластонита, отличается большей шероховатостью, наличием углублений и прерывистых канавок. Максимальная глубина неровности в профилограмме достигает 1,8 мкм. Углубление может образоваться за счет отслоения от контртела прилившейся части вторичных структур или за счет вытеснения слабосвязанных частиц наполнителя. Если рассматривать механизм изнашивания композитов со слабым межфазным взаимодействием (рис. 3), то на начальных стадиях наполнитель начинает отслаиваться, вызывая микронапряжения. В то же время полимерная матрица деформируется на выступающих микронеровностях стального контртела, формируются канавки микрорезанием. В результате циклического абразивного действия контртела повышается температура в зоне контакта, что ведет к формированию пленки переноса и вторичной структуры. В конце трения во вторичной структуре будут присутствовать измельченные и деформированные частицы волластонита, также частицы контртела. Так, наполнитель со слабым межфазным взаимодействием остается на поверхности трения в виде скошенных частиц (рис. 2) и будут присутствовать углубления на местах отслаивания наполнителя.

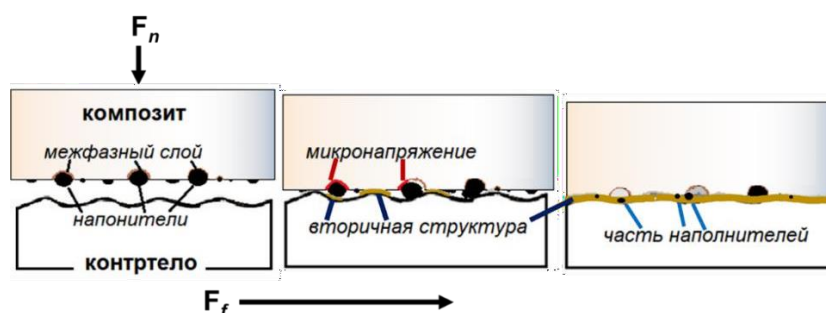


Рисунок 3 – Схематическая иллюстрация трения композитов со слабым межфазным взаимодействием между компонентами.

Таким образом, полученные данные по топографии поверхности трения ПКМ с наполнителем свидетельствует о формировании ориентированных вторичных структур, отличающихся наличием канавок и изношенных частиц волластонита по направлению скольжения. На основании результатов исследований предложен механизм изнашивания композитов на основе СВМПЭ и волластонита.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Охлопкова А.А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Rodiouchkina, M. Tribological behaviour and transfer layer development of self-lubricating polymer composite bearing materials under long duration dry sliding against stainless steel [Text] / M. Rodiouchkina, J. Lind, L. Pelcastre, K. Berglund, Å.K. Rudolphi, J. Hardell // *Wear* – 2021. – Vol. 484. – P. 204027.
2. Wang, J. Friction and wear behavior of ultra-high molecular weight polyethylene sliding against GCr15 steel and electroless Ni-P alloy coating under the lubrication of seawater [Text] / J. Wang, F. Yan, Q. Xue // *Tribology Letters*. – 2009. – Vol. 35. – P. 85-95.

ВЛИЯНИЕ БОРПОЛИМЕРА НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Данилова С.Н.¹, Ефимова Е.С.², Туисов А.Г.³

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ГКГ, Якутск, Россия; ³ИФТПС СО РАН, Якутск, Россия

dsn.sakhayana@mail.ru

“INFLUENCE OF BOROPOLYMER ON THE PROPERTIES OF ULTRA-HIGH MOLECULAR POLYETHYLENE”

Одним из стратегических направлений России является развитие Крайнего Севера, внутри которой находятся залежи важных природных ресурсов. Однако их добыча сталкивается со значительными

сложностями, связанными с климатическими условиями, что обуславливает перспективность повышения эксплуатационных характеристик техники и транспортного оборудования, которые на данный момент не всегда отвечают показателями износостойкости и морозоустойчивости. Важную роль в этом занимают материалы, из которых выполнены изделия. Создание новых композиционных материалов, в том числе на полимерной основе (ПКМ), является одним из лучших решений данной задачи. Известно, что сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), благодаря комплексу уникальных свойств используют в качестве полимерной основы (высокие прочностные характеристики и морозостойкость), также в целях улучшения функциональных свойств СВМПЭ применяют разного рода наполнители, в их число входят органические соединения [1].

Поэтому целью настоящей работы является изучение влияния полиметилена-п-трифенилового эфира борной кислоты (БП) в двух физических состояниях на физико-механические и на трибологические свойства сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

В качестве полимерной матрицы выступает сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) марки GUR 4022 (Celanese, Китай), а в качестве наполнителя – полиметилена-п-трифенилового эфира борной кислоты (БП) (ООО «Боропласт», Россия), который относят к классу борных эфиров, представляющий собой продукт поликонденсации трифенилового эфира борной кислоты и формальдегида, с молекулярно-массовым распределением основного вещества $\geq 99\%$. В данной работе использовали БП в двух физических состояниях: в вязкотекучем состоянии и в стеклообразном измельченном состоянии. БП в вязкотекучем состоянии был получен за счет растворения в компонентах эпоксиангидридного связующего, представленной в работе [2]. Содержание БП в полимерной матрице варьировали в следующих концентрациях: 0,5, 1,0, 2,0 и 5,0 мас.%. Порошок СВМПЭ и навеску БП смешивали в лопастном смесителе при скорости вращения ротора 2400 об/мин. ПКМ получали по технологии горячего прессования в гидравлическом прессе «ПКМВ-100» («Импульс», Россия) при температуре 175 °С, давлении 10 МПа, с выдержкой в течение 20 мин и с последующим охлаждением до комнатной температуры. Физико-механические свойства ПКМ исследовали на универсальной разрывной машине «AGS-J» («Shimadzu», Япония) согласно ASTM D3039/D3039M-14 при скорости движения подвижных захватов 50 мм/мин. Триботехнические характеристики определяли на трибометре UMT-3 (CETR, США) по схеме трения «палец-диск», при нагрузке 150 Н и скорости скольжения 0,5 м/с. Структурные исследования проводились на ИК-спектрометре с Фурье-преобразованием марки Varian 7000 FT-IR (Varian, США).

Для качественного анализа состава БП, провели исследование его в твердом и в растворенном виде, используя метод ИК-спектроскопии (рис. 1).

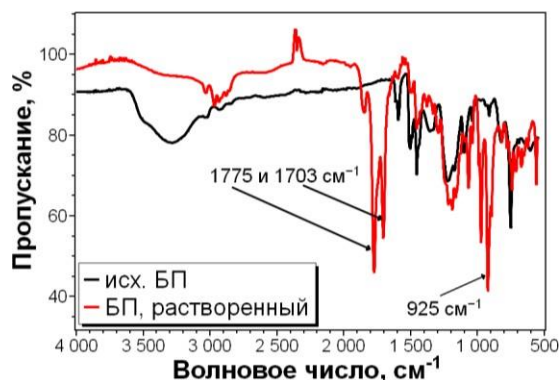
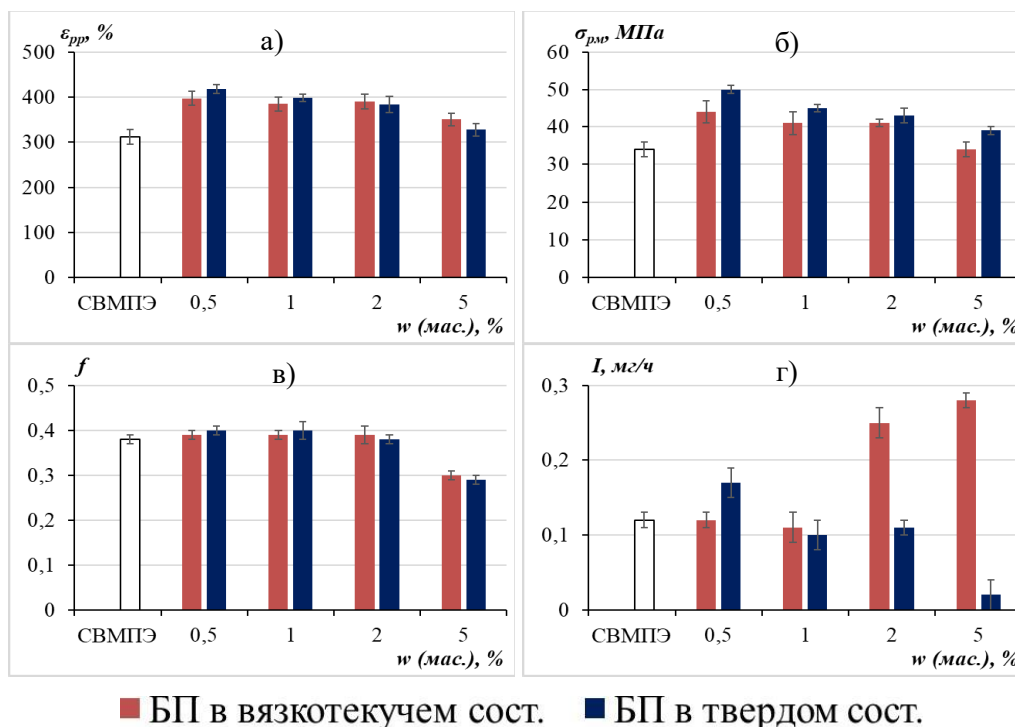


Рисунок 1 – ИК-спектр БП

На ИК-спектрах БП зарегистрированы характеристические пики бензольных колец: 1045 и 1095 см⁻¹, соответствующие колебаниям С-Н связи (метил) в плоскости бензольного кольца и пик 750 см⁻¹, вызванный колебанием вне плоскости бензольного кольца С-Н связи. Обнаружены интенсивные пики в области поглощения при 1590-1455 см⁻¹, которые вызваны колебаниями кратной связи (С=С) ароматического кольца. Наблюдаемая широкая полоса поглощения в области 3290 см⁻¹ относится к колебаниям С-Н связей бензольного кольца [3], а пик при 1350 см⁻¹ относится к деформационным колебаниям связи В-О. Асимметричные валентные колебания связи В-С в трифенилборах относятся к пику поглощения при 1220 см⁻¹. В то время как симметричные колебания связи В-С характеризуются появлением пика при 825 см⁻¹ [4].

ИК-спектр растворенного БП отличается появлением новых пиков, характерных для кислородсодержащих групп. Так зафиксированы пики поглощения при 1775 и 1703 см^{-1} , относящиеся к колебаниям $-\text{COOH}$ и $-\text{COX}$ функциональных групп. Широкая полоса поглощения в области 3020-3600 см^{-1} является характерной для гидроксигруппы и указывает на наличие водородных связей [3]. Интенсивный пик при 920 см^{-1} соответствует колебаниям эпоксидной группы C-O-C [5]. Таким образом, показано, что полученные ИК-спектры соответствуют химическому составу БП и применяемому растворителю.

Результаты исследований физико-механических и трибологических испытаний приведены на рис. 2.



■ БП в вязкотекучем сост. ■ БП в твердом сост.

Рисунок 2 – Сравнение влияния БП в двух состояниях на свойства СВМПЭ:

а – относительное удлинение при разрыве; б – предел прочности при растяжении; в – коэффициент трения; г – скорость массового изнашивания

Сравнительный анализ показывает, что наилучшие результаты наблюдаются при использовании БП в стеклообразном измельченном состоянии. Так зафиксировано повышение относительного удлинения при разрыве на 34 % и предела прочности при растяжении на 47 % по сравнению с исходным СВМПЭ. Сравнительный анализ двух композитов выявил, что значение предела прочности при растяжении у ПКМ с твердым БП выше на 13 %, чем у ПКМ, наполненного БП в вязкотекучем состоянии. Кроме того, введение БП в стеклообразном состоянии приводит к снижению коэффициента трения на 23 % и скорости массового изнашивания в 6 раз по сравнению с исходным СВМПЭ, а по сравнению с ПКМ, напыленного БП в вязкотекучем состоянии, скорость массового изнашивания ниже в 5 раз. Изменение показателей относительного удлинения и коэффициента трения у двух композитов имеют одинаковую тенденцию и изменение относительно исходного СВМПЭ одинаковые. Преимущество использования БП в твердом измельченном состоянии объясняется лучшим диспергированием и смешением с полимерной матрицей по сравнению с БП в вязкотекучем состоянии.

Таким образом, у ПКМ со стеклообразным БП получается более плотная упаковка и менее дефектная структура, чем в вязкотекучем состоянии. В дальнейших работах можно использовать разные технологические приемы для совмещения БП в вязкотекучем состоянии с СВМПЭ, такие как механическая активация в планетарной мельнице, смещение в вальцах, УЗ-диспергирование и высокоскоростное смешение компонентов композита.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Охлопкова А.А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Zhu, D. Interfacial Bond Property of UHMWPE Composite [Text] / D. Zhu, Y. Wang, X. Zhang, S. Cheng // Polymer bulletin. – 2010. – Vol. 65, No. 1. – P. 35-44

2. Исследование процесса растворения борполимера в эпоксиангидридном связующем [Текст] / А.Г. Туисов [и др.] // Ползуновский вестник. – 2020. – №. 4. – С. 117-120.
3. Nandiyanto, A.B.D. How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material [Text] / A.B.D. Nandiyanto, R. Oktiani, R. Ragadhita // Indonesian Journal of Science and Technology. – 2019. – Vol. 4, No. 1. – P. 97-118.
4. Shurvell, H.F. Infrared Spectra of Triphenylboron and Triphenylborate [Text] / H.F. Shurvell, J.A. Faniran // Canadian Journal of Chemistry. – 1968. – Vol. 46, No. 12. – P. 2081-2087.
5. Li, B. Multifold interface and multilevel crack propagation mechanisms of graphene oxide/polyurethane/epoxy membranes interlaminar-toughened carbon fiber-reinforced polymer composites [Text] / B. Li, D. Liu, G. Li, X. Yang // Journal of Materials Science. – 2018. – Vol. 53. – P. 15939-15951.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СООТНОШЕНИЯ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО И НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКОВ НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРА

Дьяконова Д.А., Дьяконов А.А.

СВФУ, Якутск, Россия

irsumei@mail.ru

“INVESTIGATION OF THE NITRILE BUTADIENE AND NATURAL RUBBERS RATIO EFFECT ON THE PROPERTIES OF ELASTOMER”

Одной из наиболее часто встречающихся проблем при эксплуатации эластомеров в технических узлах является невозможность сочетания разных свойств в одном каучуке, например, агрессивностойкость с морозостойкостью, либо прочностные свойства с износостойкостью и т.д. Эти качества особенно важны при низких температурах, поскольку эластомеры становятся жесткими и хрупкими, следовательно, ухудшаются деформационные свойства, что может привести к преждевременному выходу из строя техники. Решение данной проблемы возможно путем поиска новых эластомерных материалов, сочетающих в себе уникальные свойства разных каучуков, что, в свою очередь, позволит увеличить диапазон применения резинотехнических изделий на их основе.

Известно [1], что наиболее морозостойкими являются эластомеры на основе бутадиеновых, изопреновых и силиконовых каучуков. Бутадиен-нитрильный каучук обладает хорошей устойчивостью к различным маслам, топливам и другим нефтепродуктам, что делает его идеальным для применения в автомобильной промышленности, где неизбежен контакт с маслами и топливами [2].

Целью данной работы является изучение влияния совмещения агрессивностойкого бутадиен-нитрильного каучука марки БНКС-18 и натурального каучука марки SVR-3L на упруго-прочностные свойства и стойкость к воздействию углеводородных масел.

В качестве объектов исследования выступали эластомеры в зависимости от содержания в резиновой смеси натурального каучука марки SVR-3L (Вьетнам, CAS 9003-31-0) и бутадиен-нитрильного каучука марки БНКС-18 АМН (Россия, ТУ 38.30313-2006). Рецепт резиновых смесей приведен в табл. 1, шаг замены каучуков составлял 20 масс.ч.

Таблица 1 – Рецепт резиновой смеси на основе БНКС-18 и SVR-3L

№	Ингредиенты	Масс.ч.					
		1	2	3	4	5	6
1	БНКС-18 АМН	100	80	60	40	20	-
2	SVR-3L	-	20	40	60	80	100
3	Стеариновая кислота	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
4	Оксид цинка	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
5	ТУ П-803	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
6	Сульфенамид Ц	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
7	Сера	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Смешение ингредиентов производилось в резиносмесителе закрытого типа Plastograph EC Plus (Brabender, Германия) при скорости вращения валков 25 об/мин, усилием 50 Н в течение 20 мин при начальной температуре валков 40°C. На 0-й минуте вводились каучуки совместно со стеариновой кислотой, на 2-ой минуте вводили малоактивный технический углерод П-803, на 5-й минуте оксид цинка, на 8-й минуте ускоритель вулканизации сульфенамид Ц, на 10-й минуте вводили серу.

Вулканизация резиновой смеси производилась на гидравлическом прессе GT-7014-H10C (Gotech Testing Machines Inc, США) при температуре 155 °С в течение 20 мин под давлением 10 МПа.

Определение упруго-прочностных свойств проводилось на разрывной машине Autograph AGS-J (Shimadzu, Япония) при скорости перемещения зажимов 500 мм/мин согласно стандарту ISO 37-2020. Стойкость к набуханию эластомерных образцов определяли в среде гидравлического масла АМГ-10 при комнатной температуре в течение 72 часов согласно ISO 1817-2016. Исследование надмолекулярной структуры образцов осуществлялось на растровом электронном микроскопе JSM-7800F (JEOL, Япония) при низком ускоряющем напряжении. Образцы для изучения структуры подготавливались методом хрупкого скола в среде жидкого азота.

В табл. 2 приведены результаты упруго-прочностных свойств в зависимости от соотношения бутадиен-нитрильного и натурального каучуков.

Таблица 2 – Свойства эластомеров на основе совмещения каучуков БНКС-18 с SVR-3L

Свойства	Рецептуры					
	1	2	3	4	5	6
ε _р , %	290	255	379	481	542	589
f _р , МПа	13,4	11,9	13,7	15,5	17,5	17,7
ΔQ, %	12,6	29,8	56,8	91,7	116,6	134,9

ε_р, % – относительное удлинение при разрыве; f_р, МПа – условная прочность при разрыве; ΔQ, % – степень набухания в среде масла АМГ-10.

При совмещении каучуков БНКС-18 и SVR-3L в соотношении 80:20 наблюдается уменьшение прочностных свойств. С дальнейшим увеличением содержания SVR-3L в резиновой смеси на основе комбинации каучуков происходит постепенное повышение прочности, максимальный показатель наблюдается у образца на основе SVR-3L и составляет 17,7 МПа. Наибольшим удлинением обладает эластомер на основе исходного SVR-3L – 589%. Наименьшим показателем удлинения характеризуется резиновая смесь на основе комбинации каучуков с соотношением БНКС-18 (80) : SVR-3L (20) – 255%, когда как у БНКС-18 – 290%. С дальнейшим увеличением содержания SVR-3L в резиновой смеси повышается показатель удлинения. Наибольшей стойкостью к набуханию в углеводородной среде АМГ-10 обладает эластомер на основе БНКС-18 – 12,6%. С увеличением содержания SVR-3L в резиновой смеси снижается стойкость к воздействию агрессивной углеводородной среды.

На рис. 1 приведены результаты исследования надмолекулярной структуры эластомеров в зависимости от соотношения каучуков в резиновой смеси.

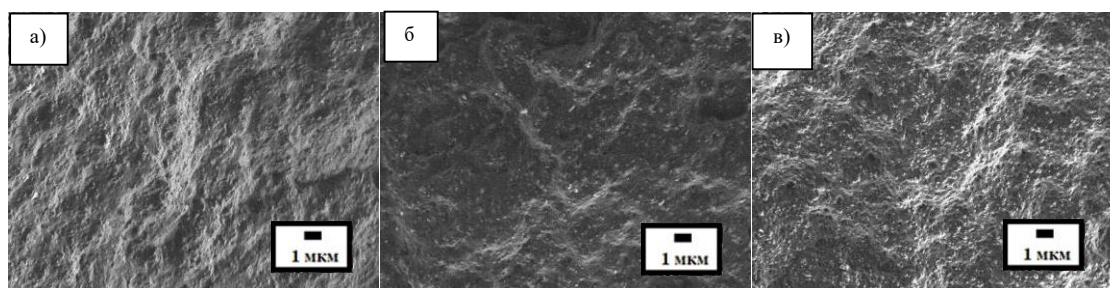


Рисунок 1 – Микрофотографии эластомеров в зависимости от соотношения каучуков в резиновой смеси: а) БНКС-18; б) БНКС-18 (40): SVR-3L (60); в) SVR-3L

На поверхности эластомера на основе БНКС-18 (рис.1, а) видно меньшее количество технического углерода относительно эластомера на основе SVR-3L. В сравнении с другими эластомерами поверхность ровная. У образца БНКС-18 (40): SVR-3L (60) (рис.1, б) поверхность более равномерная, имеются несколько неглубоких впадин. На поверхности эластомера на основе SVR-3L (рис.1, в) наблюдается большее количество технического углерода по сравнению с другими образцами.

С увеличением содержания натурального каучука в резиновой смеси наблюдается повышение прочностных и эластических свойств, так как натуральный каучук характеризуется более высокими упруго-прочностными показателями по сравнению с бутадиен-нитрильным каучуком. С преобладанием содержания в резиновой смеси бутадиен-нитрильного каучука повышается условное напряжение при удлинении и стойкость к воздействию гидравлического масла АМГ-10. Методом растровой электронной микроскопии установлено, что при введении небольшого количества

натурального каучука в резиновую смесь образуются грани переходов между каучуками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № FSRG-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Чайкун, А.М. Особенности построения рецептур для морозостойких резин [Текст] / А.М. Чайкун, Елисеев О. А., Наумов И. С. [и др.] // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 3(28). – С. 53-55.
2. Мухин, В.В. Разработка стойких к авиационным синтетическим маслам резин на основе смесей нитрильных и диеновых каучуков [Текст] / В.В. Мухин, Н.Н. Петрова, Е.А. Капитонов [и др.] // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2016. – №. 6(56). – С. 41-50.

ВЛИЯНИЯ ТИПА РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ

Егорова М.Н., Смагулова С.А.

СВФУ, Якутск, Россия

mn.egorova@s-vfu.ru

“INFLUENCE OF SOLVENT TYPE ON THE OPTICAL PROPERTIES OF CARBON DOTS SYNTHESIZED FROM CITRIC ACID”

Углеродные точки (УТ) привлекают к себе большое внимание ученых по всему миру. Благодаря настраиваемой люминесценции, высокой биосовместимости, низкой токсичности, а также простым методам синтеза, углеродные точки нашли широкое применение в различных областях, таких как оптоэлектроника, биомедицина и др. Углеродные точки представляют собой квазисферические наночастицы, размерами менее 20 нм, имеющие в своем составе кислород- и азотсодержащие функциональные группы. Меняя условия синтеза (температуру, тип углеродных прекурсоров, вид растворителя) можно получать УТ с различными размерами, формой и оптическими свойствами. Так, при изменении растворителя с воды на органический растворитель, можно получить УТ с разными оптическими свойствами [1]. В данной работе проведено сравнение свойств углеродных точек, синтезированных из лимонной кислоты в воде и в диметилформамиде (ДМФА).

Показано, что после синтеза растворы углеродных точек, синтезированные в воде, были коричневого цвета, а синтезированные в ДМФА были красного цвета. При подсветке ультрафиолетовым (УФ) светом растворы УТ, синтезированные из лимонной кислоты в воде светились голубым, а в ДМФА – красным (рис. 1, а, б).

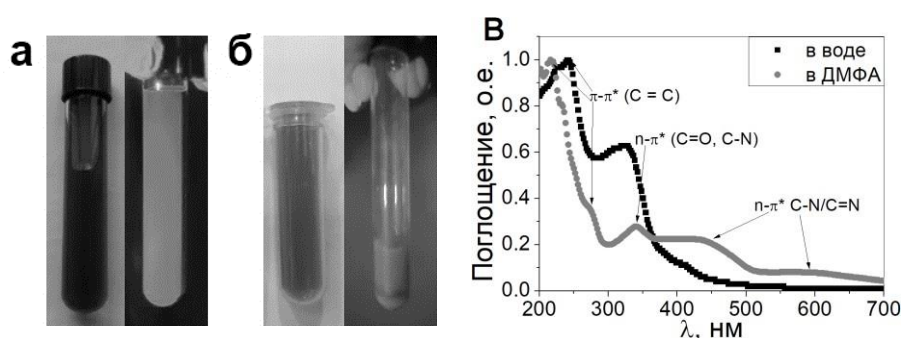


Рисунок 1 – а) Раствор УТ из лимонной кислоты в воде при дневном освещении и под УФ облучением, б) растворы УТ из ЛК и мочевины в ДМФА, при дневном освещении и под УФ светом ($\lambda=325$ нм), в) спектры поглощения УТ в различных растворителях

Спектры поглощения углеродных точек, синтезированных в воде и ДМФА, содержат разные пики поглощения (рис. 1, в). Пики поглощения в области 200–270 нм обусловлены электронными переходами между уровнями размерного квантования в щели $\pi-\pi^*$ (C=C). Пики поглощения, связанные с наличием функциональных групп, наблюдаются в областях спектра в интервале 300 – 600 нм. Пики поглощения в области 300–400 нм вызваны переходами $n-\pi^*$ связей C=O/C–N, а переходы в области 400–600 нм связаны с поглощением разных ароматических структур. Из спектров поглощения нами были рассчитаны значения энергетических щелей, которые равны 4,5 эВ и 5,4 эВ для

углеродных точек, синтезированных в воде и в ДМФА, соответственно.

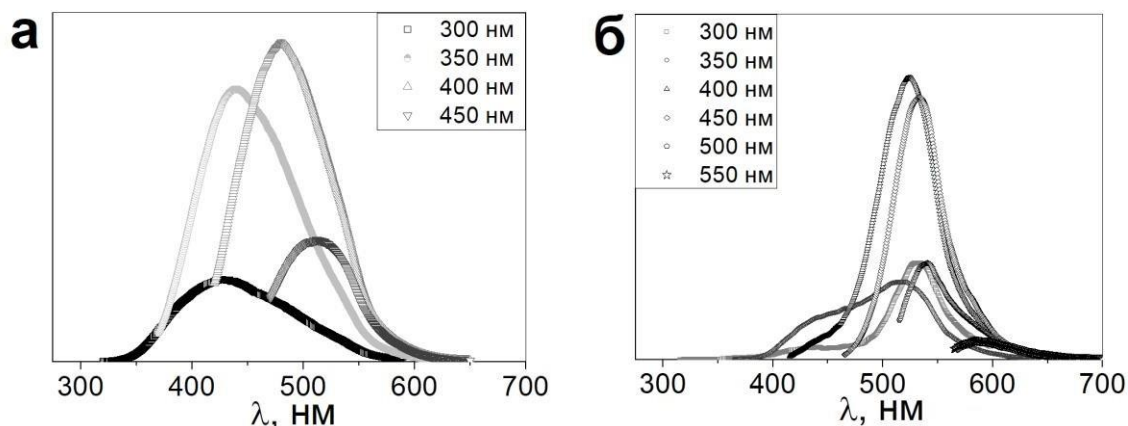


Рисунок 2 – Спектры люминесценции УТ из лимонной кислоты а) в воде; б) в ДМФА

Обнаружено, что углеродные точки, синтезированные в воде, люминесцируют в сине-зеленой области спектра (420-515 нм), тогда как УТ, синтезированные в ДМФА, люминесцируют в желто-красной области спектра (520-600 нм) (рис. 2, а, б).

Максимальный пик люминесценции УТ, синтезированных в воде расположен при 479 нм ($\lambda_{\text{возб}}=400$ нм), тогда как при синтезе в ДМФА максимальный пик расположен при 523 нм ($\lambda_{\text{возб}}=400$ нм). Люминесценция углеродных точек обусловлена излучательными переходами электронов между дискретными уровнями, расположенными в энергетической щели $\pi-\pi^*$. В углеродных точках, синтезированных в воде излучательные переходы электронов происходят с энергиями 2,9; 2,8; 2,6 и 2,4 эВ, в то время как излучательные переходы электронов в УТ, синтезированных в ДМФА происходят с энергиями 2,3; 2,4 и 2,1 эВ.

В работе показано, что изменение типа растворителя вызывает изменения в оптических свойствах углеродных точек, а именно: меняет цвет растворов УТ, меняет пики поглощения в спектрах UV-VIS и смещает положение максимумов пиков спектров люминесценции. Данные изменения обусловлены различием в составе и количестве функциональных групп, которые образуются при синтезе углеродных точек.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания FSRG-2023-0026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. He, C. The synthetic strategies, photoluminescence mechanisms and promising applications of carbon dots: Current state and future perspective [Text] / C. He, P. Xu, X. Zhang, W. Long // Carbon. – 2022. – Vol. 186. – P. 91-127.

ВЛИЯНИЕ ВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СВМПЭ с β -СИАЛОНОМ

Ефремов Д.Е., Адаменко Н.А., Агафонова Г.В.

ВолгГТУ, Волгоград, Россия

mypol@vstu.ru

“INFLUENCE OF EXPLOSIVE TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL UHMWPE WITH 5% β -SIALON”

Исключительная химическая и климатическая стойкости, высокие электроизоляционные свойства, низкий коэффициент трения, морозостойкость, а также биосовместимость полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе полиэтилена (СВМПЭ) с микро- и нанодисперсными наполнителями предопределило их использование в сложных условиях эксплуатации оборудования химического, нефтегазового и энергетического комплекса. Однако ряд технологических проблем (высокая вязкость расплава полимеров, недостаточная адгезионная прочность, агломерирование микро- и наноразмерных частиц наполнителя др.), возникающих при создании таких материалов

удается нивелировать применением различных высокоэнергетических методов активации компонентов порошковой смеси. [1, 2].

Перспективным и эффективным способом структурной модификации ПКМ, повышения адгезионной прочности на границе раздела полимер-наполнитель является технология взрывной обработки, обеспечивающая реализацию одновременно высоких давлений (до 10 ГПа) и температур (до 1000 °С) [3, 4]. Технология взрывного прессования (ВП) полимеров расширяет возможности применения трудноперерабатываемых термопластов.

В работе изучалось влияние ВП на структуру и свойства антифрикционного композиционного материала на основе СВМПЭ с 5% β -сиалона (SiAlON). Проведены сравнительные исследования влияния статического прессования (СП) и взрывной обработки на структуру, кристаллическое строение, термомеханические характеристики композита. Исследования осуществлялись с помощью рентгенофазового (РФА) и термомеханического (ТМА) анализов, электронной микроскопии с применением дифрактометра D8 ADVANCE (Bruker AXS GmbH), анализатора Netzsch 402 F3 Huregion, электронного микроскопа Versa 3D DualBeam. СП ПКМ проводили в прессформах давлением 50 МПа, ВП осуществляли скользящей ударной волной через пластину-ударник давлением 0,3-1,3 ГПа, что позволило получить монолитные композиционные компакты плоской формы.

Установлено, что статическое прессование, как и ударное сжатие через пластину-ударник давлением 0,3-0,6 ГПа не обеспечивает получение качественных композитных материалов из-за низкого адгезионного взаимодействия между матрицей и наполнителем, при этом сохраняется исходная форма частиц. Увеличение ударного давления через пластину-ударник до 0,7-0,9 ГПа способствует структурной деформации с упорядоченным расположением частиц порошков вдоль распространения скользящего ударного фронта. В ходе СЭМ-исследований морфологии композита обнаружена трансформация надмолекулярной структуры СВМПЭ с ламелярной в радиально-симметричную с центрами частиц керамического наполнителя

При давлении ВП 0,7-0,9 ГПа через пластину-ударник почти не влияет на степень кристалличности и размеры кристаллитов СВМПЭ. Дифракционные максимумы СВМПЭ, а также наполнителя остаются при постоянных углах, соответствующих литературным данным, а межплоскостные расстояния кристаллической решетки практически не изменяются. При ВП давлением $P > 0,6$ ГПа происходит частичное перестроение орторомбической фазы в новую моноклинную фазу (фазу деформации) при $2\theta = 19,5^\circ$, как после ВП и механоактивационной обработки исходного СВМПЭ.

Повышение давления ВП до 1,0-1,3 ГПа приводит к максимальной пластической деформации полимерных частиц, они заметно сплющиваются по направлению ударного сжатия. Происходит увеличение межфазной зоны между частицами полимера и адгезионного взаимодействия между частицами полимера и керамики. Необходимо отметить, что ВП не привело к химическим изменениям структуры и по данным ЭДС элементный состав композита под действием ударной волны не изменяется. Результаты РФА свидетельствуют о преобладающем влиянии разогрева полимера за счет межчастичного трения на кристаллическую структуру. Наблюдается уменьшение моноклинной фазы в 2-3 раза, деформации кристаллической решетки СВМПЭ до $(6,4-6,7) \cdot 10^{-3}$ и увеличение размера кристаллитов до 24-28 нм.

По результатам ТМА установлено, что увеличение давления ударного сжатия через пластину-ударник с 0,3-0,6 ГПа до 0,7-1,3 ГПа сопровождается повышением теплостойкости со 136-138 °С до 145-148 °С, что свидетельствует об усилении межфазного и адгезионного взаимодействия, а также возможным сшиванием макромолекул полимера и согласуется с результатами РФА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Михайлин, Ю.А. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен [Текст] / Ю.А. Михайлин // Полимерные материалы. – 2003. – №. 3. – С. 18-21.
2. Злобин, Б.С. Циклическое ударное прессование порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена [Текст] / Б.С. Злобин, А.А. Штерцер, В.В. Киселев [и др.] // Прикладная механика и техническая физика. 2017. – Т. 58, №. 3. – С. 68-76.
3. Zhou, J. Improvement of the tribological behavior of ultra-high-molecular-weight polyethylene by incorporation of poly (phenyl p-hydroxyzoate) [Text] / J. Zhou, F. Yan // Journal of Applied Polymer Science. – 2005. – Vol. 96, No. 6. – P. 2336-2343.
4. Adamenko, N.A. Effect of explosive treatment on the structure and thermomechanical properties of filled polytetrafluoroethylene [Text] / N.A. Adamenko, G.V. Agafonova // Journal International Polymer Science and Technology. – 2018. – Vol. 45, No. 2. – P. 39-42.

DESIGN OF AN ULTRAVIOLET CHAMBER FOR STUDYING THE DESTRUCTION OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Vasilyeva E.D.^{1,2}, Ivanov A.N.¹, Lukachevskaya I.G.², Kychkin A.A.²

¹NEFU, Yakutsk, Russia; ²IPTPN, Yakutsk, Russia

vasilyeva_edm@mail.ru

At present, new generation polymer composite materials (PCM) are being created in the Russian Federation for aerospace engineering and various branches of mechanical engineering. The use of these materials is complicated by the fact that both in domestic and world practice there is no strict scientific basis for reliable prediction of PCM durability for such long operation periods. There is an obvious lack of PCM studies that consider uneven aging under the influence of ultraviolet (UV) radiation and mechanical loads at the operational level. UV radiation is one of the factors of destructive effect on PCM since it initiates photochemical reactions that lead to irreversible destruction of the material. Since the polymer matrix binds and transfers the load to the reinforcing fibers, damage to this critical component can adversely affect the overall mechanical properties of the PCM and limit its service life [1-3].

Recent studies have proposed a new model for UV degradation of polymers based on total dose exposure [2, 4]. UV exposure of epoxy resin samples in a QUV chamber for 1000 hours showed greater destruction of the peaks compared to the valleys, resulting in a flatter surface. It was demonstrated that UV damage makes rough polymer surfaces smoother, with the highest degradation rates occurring at the peaks. This model provides insight into the mechanisms of UV degradation on real-world rough surfaces.

In this work, based on a review of literary sources, the design of an ultraviolet chamber for studying the degradation of PCMs is proposed. The chamber consists of a housing with UVA fluorescent lamps 604 mm long and a radiation flux of 1.8 W. Inside the chamber there is a pull-out frame with removable holders for installing samples sized 110x20x5 mm in the amount of 120 pcs. The holders are designed so that the samples can be placed in vacuum bags to eliminate the influence of air and provide single-factor exposure only by UV radiation. The scheme of the developed UV-chamber is represented in Fig.1.

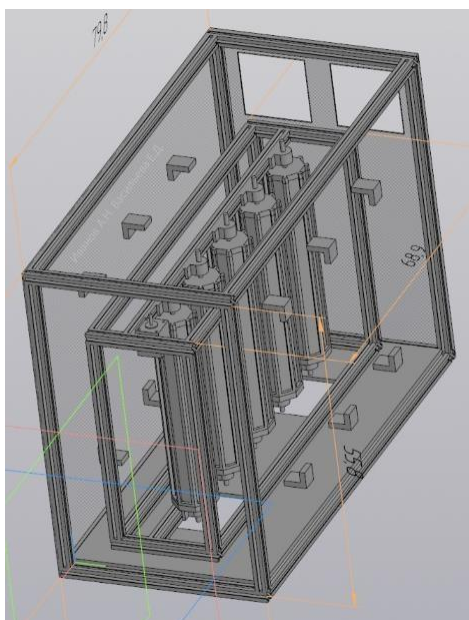


Figure 1 – Schematic representation of the developed UV-chamber

The choice of fluorescent lamps is due to their stability compared to other sources of UV radiation. The distance between the lamps and the samples is 10-50 cm. This design allows simultaneous irradiation of a large number of samples under controlled conditions.

To study the dependence of PCM degradation on the UV dose, it is planned to expose the samples to exposure for 3000 hours. When using lamps with a radiation flux of 1.8 W and a distance to the samples of 10

cm, the radiation power will be 180 W/m². Then the total dose for 3000 hours of exposure is calculated by the formula:

$$D = E \times t = 180 \text{ W/m}^2 \times 3000 \text{ h} \times 3600 \text{ s/h} = 1.944 \times 10^9 \text{ J/m}^2$$

where E – radiation power, W/m²; t – time, s.

Such a dose will simulate the prolonged exposure to UV radiation on PCMs in real operating conditions. Analysis of the properties of samples after irradiation will provide information about the kinetics of destruction processes in materials and threshold dose values that lead to a critical decrease in the characteristics of PCM.

Further experiments using this chamber will allow obtaining the dependencies of the uneven aging of PCMs on the UV dose. This will make it possible to more accurately predict the durability of polymer composites used in the aerospace and other industries. In addition, the research results can be used to develop effective methods of protecting PCMs from the effects of ultraviolet radiation.

Thus, the creation of an ultraviolet chamber of the proposed design is an urgent task for studying the destruction of polymer composite materials caused by UV irradiation. The results of the planned experimental studies will provide new data on the kinetics of the photodestruction of PCMs and develop recommendations for improving their radiation resistance.

The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-79-01050, <https://rscf.ru/en/project/23-79-01050/>

REFERENCES:

1. Khotbehsara, M.M. Effects of ultraviolet solar radiation on the properties of particulate-filled epoxy based polymer coating [Text] / M.M. Khotbehsara, A. Manalo, T. Aravinthan [et al.] // Polymer Degradation and Stability. – 2020. – Vol. 181. – P. 109352.
2. Chennareddy, R. UV-resistant GFRP composite using carbon nanotubes [Text] / R. Chennareddy, H. Tuwair, U.F. Kandil [et al.] // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 220. – P. 679-689.
3. Butt, S.U. Investigation of epoxy composites for outdoor insulation under accelerated ultraviolet exposure [Text] / S.U. Butt, A. Khattak, A. Ali [et al.] // Materials Research Express. – 2021. – Vol. 8, No. 8. – P. 085303.
4. Startsev, V.O. The influence of polymer composite materials' surface weathering on its mechanical properties [Text] / V.O. Startsev, E.O. Valevin, A.I. Gulyaev // Trudy VIAM. – 2020. – Vol. 8. – P. 7.

РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА, НАПОЛНЕННОГО МОДИФИЦИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ ВОЛОКНАМИ ЗОЛ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Иванова А.А., Васильев А.П.

СВФУ, Якутск, Россия

anaafa.ivanova@s-vfu.ru

“DEVELOPMENT OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE FILLED WITH MODIFIED CARBON FIBERS BY THE ASH-GEL METHOD”

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений материаловедения является разработка полимерных композиционных материалов (ПКМ) с улучшенными эксплуатационными свойствами [1].

Среди полимерных материалов, используемых в сложных условиях эксплуатации, наиболее перспективным является фторопласт-4, или политетрафторэтилен (ПТФЭ). Он обладает уникальной химической инертностью, высокой термической стойкостью, исключительной морозостойкостью и низким коэффициентом трения [2]. Однако применение ПТФЭ ограничено из-за наличия таких недостатков, как относительно низкая износостойкость и способность деформироваться в нормальных условиях даже при небольших нагрузках. Указанные недостатки можно устранить введением различных модификаторов: слоистые силикаты, оксиды, графит, дисульфиды, стеклянные и углеродные волокна [3]. Среди приведенных наполнителей волокнистые наполнители являются наиболее предпочтительными из-за повышения не только износостойкости, но и улучшения механических свойств [4]. В связи с этим, в данной работе в качестве модификаторов ПТФЭ будут

использованы углеродные волокна, модифицированные с помощью золь-гель процесса с целью улучшения свойств ПТФЭ и выявления перспективности их использования для повышения износостойкости и других характеристик.

Полимерной матрицей служил ПТФЭ (фторопласт-4) марки ПН-90 со средними размерами частиц порошка – 90 мкм, плотность 2160 кг/м³. Наполнителями служили углеродные волокна (Dongguan Yini Composite Material, Co.Ltd, Китай) с диаметром волокна 7 мкм и соотношением диаметра к длине 2:1-8:1, плотность 1,75 г/см³. Для получения золя использовали ацетат цинка Zn(CH₃COO)₂·2H₂O по ГОСТ 5823-78 и гидрат аммиака NH₃·H₂O по ГОСТ 24147-80.

Золь получали, добавляя по каплям раствор NH₃·H₂O (1 моль/л) к раствору Zn(CH₃COO)₂·2H₂O (2 моль/л), при перемешивании в магнитной мешалке до тех пор, пока pH достигал около 10. Наполнитель смешивали с полученной золой в течение 15 мин путем перемешивания в магнитной мешалке. Затем обжигали со скоростью нагревания печи 5 град/мин до 350 °С. Совмещение ПТФЭ с порошком наполнителя проводили путем сухого смешения в лопастном смесителе в течение 2-х минут (до получения гомогенной смеси). Содержание наполнителя в композите варьировали 3, 5 и 10 мас.%. Образцы для испытаний изготавливали по стандартным методикам (ГОСТ 11262-2017).

Механические характеристики ПКМ определяли на испытательной машине AGS-J фирмы «Shimadzu» (Япония). Триботехнические характеристики определяли на трибомашине SETR UMT-3 (Универсальная машина трения – 3). Схема трения «палец–диск» при удельном давлении 160 Н, скорости скольжения 96 об/мин, время испытания 3 часа. Плотности исходного ПТФЭ и ПКМ на его основе определяли по стандартной методике (ГОСТ 15139-69). Сущность метода заключается в сравнении масс одинаковых объемов испытуемого вещества и жидкости известной плотности (например, дистиллированной воды), называемой рабочей жидкостью.

В табл. 1 приведены результаты физико-механических и триботехнических характеристик и плотность ПТФЭ и ПКМ на его основе.

Как видно из таб. 1, прочность при растяжении увеличивается в случае добавления УВ до 3 мас.% независимо от модификации. Относительное удлинение ПКМ монотонно уменьшается при повышении концентрации наполнителя. Плотность ПКМ незначительно снижается при введении наполнителя от 3 до 10 мас.%, причем данные немодифицированных совпадают с модифицированными УВ. Скорость массового изнашивания ПКМ уменьшается при добавлении 3 мас.% без модификации в 255 раз по сравнению с исходным полимером, в случае введения той же концентрации с модификацией – в 158 раз. Максимальное значение износостойкости получено в ПКМ с 10 мас.% УВ, что в 705-857 раз относительно исходного полимера. Коэффициент трения ПКМ с повышением концентрации до 3 мас.% остается на уровне исходного ПТФЭ независимо от модификации волокна. При содержании от 5 до 10 мас.% УВ в ПКМ значение коэффициента трения повышается на 42-57%, соответственно.

Таблица 1 – Физико-механические и триботехнические характеристики и плотность ПТФЭ и ПКМ на его основе

Образец	ε _{рр} , %	σ _{рм} , МПа	σ _{сд} , МПа		ρ, г/см ³	I, мг/ч	f
			при 5 %	при 10 %			
ПТФЭ исходный	364 ± 18	20 ± 2	10 ± 1	13 ± 1	2,16	120,00	0,21
ПТФЭ+3%УВ	356 ± 17	27 ± 2	11 ± 1	14 ± 1	2,14	0,47	0,19
ПТФЭ+5%УВ	342 ± 22	22 ± 2	11 ± 1	15 ± 1	2,13	0,29	0,25
ПТФЭ+10%УВ	340 ± 13	21 ± 2	12 ± 1	16 ± 1	2,11	0,14	0,33
ПТФЭ+3%УВ модиф.	339 ± 18	25 ± 2	9 ± 1	14 ± 1	2,14	0,76	0,20
ПТФЭ+5%УВ модиф.	317 ± 16	24 ± 2	10 ± 1	15 ± 1	2,13	0,25	0,23
ПТФЭ+10%УВ модиф.	302 ± 18	21 ± 2	11 ± 1	16 ± 1	2,11	0,17	0,30

Примечание: ε_{рр} – относительное удлинение при разрыве, %; σ_{рм} – предел прочности при растяжении, МПа; σ_{сд} – напряжение на сжатие при установленной относительной деформации (X, %); ρ – плотность, г/см³; I – скорость массового изнашивания, мг/ч; f – коэффициент трения.

Таким образом, разработаны ПКМ на основе ПТФЭ, наполненные УВ с без и модифицированием золь-гель методом. Показано, что наилучшими эксплуатационными характеристиками обладает композит, содержащий 10 мас. % УВ без и с модификацией, при этом скорость массового изнашивания

ПКМ уменьшается в 705-857 раз. Разработанные материалы могут найти применение в различных узлах трения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по Госзаданию №FSRG-2023-0026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Васильев, А.П. Взаимосвязь надмолекулярной структуры и триботехнических свойств политетрафторэтилена с углеродными волокнами [Текст] / А.П. Васильев, А.А. Охлопкова, Т.С. Стручкова [и др.] // Вестник СВФУ. – 2017. – №. 5(61). – С. 37-46.
2. Охлопкова, А.А. Разработка и исследование полимерных композиционных материалов на основе активации политетрафторэтилена и углеродных наполнителей [Текст] / А.А. Охлопкова, А.П. Васильев, Т.С. Стручкова, А.Г. Алексеев [и др.] // Вестник СВФУ. – 2015. – №. 4(48). – С.37-46.
3. Васильев, А.П. Исследование влияния углеродных и базальтовых волокон с ультрадисперсным ПТФЭ на триботехнические свойства политетрафторэтилена [Текст] / А.П. Васильев, Т.С. Стручкова, А.А. Охлопкова [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – №. 1. – С. 89-95.
4. Васильев, А.П. Разработка антифрикционных материалов на основе политетрафторэтилена с углеродными волокнами [Текст] / А.П. Васильев, А.А. Охлопкова, Т.С. Стручкова [и др.] // Вестник СВФУ. – 2017. – №. 3(59). – С. 39-47.

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН УНВ-01 И УНВ-02 НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Исакова Т.А.¹, Петрова П.Н.¹, Маркова М.А.¹, Иванова М.Ф.²

¹ИИПНГ СО РАН, Якутск, Россия; ²СВФУ, Якутск, Россия

tanchik1985@mail.ru

“INFLUENCE OF CARBON NANOFIBERS UNV-01 AND UNV-02 ON THE PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE”

Углеродные волокна применяются в различных высокотехнологических отраслях в качестве армирующих материалов для полимерных матриц. Это связано с их высокой прочностью, отличными электрическими свойствами и теплопроводностью. В основных компонентах высококачественных продуктов аэрокосмической промышленности и высокотехнологичных транспортных средств также широко применяются углеродные волокна. Их высокая прочность вдоль оси обеспечивает низкую плотность и отличные свойства при растяжении. Это значительно повышает физико-механические и износостойкие характеристики полимерных композитных материалов [1-4]. Цель данной работы – исследование влияния углеродных нановолокон УНВ-01 и УНВ-02 на свойства наполненных полимерных композитов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

В качестве полимерной матрицы использовали ПТФЭ - фторопласт-4 (Ф-4) марки ПН, ГОСТ 10007-80. В качестве наполнителей апробированы углеродные нановолокна УНВ (УНВ-01, УНВ-02) производства Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, полученные методом каталитического пиролиза двух типов смесей углеводородов (C_2H_4 , C_3+C_4) на никель-медных катализаторах. Тип упаковки УНВ – стопчатый, вторичная структура является сегментированной, волокна в диаметре не превышают 1 мкм. В таблице 1 представлены характеристики УНВ-01 и УНВ-02 [5].

Таблица 1 – Характеристики УНВ-01 и УНВ-02

№	Название	Источник С	T, °C	t, мин	m(C+), г	g(C+), г/л	SSA, м ² /г	V _{пор} , см ³ /г	C(кат), %
1	УНВ-01	C ₂ H ₄	550	60	325,0	55	179,2	0,34	1,6
2	УНВ-02	C ₃ +C ₄	650	60	146,6	62	213,0	0,38	3,6

Примечание: T – температура проведения эксперимента (°C), t – длительность эксперимента (мин), m(C+) – масса углерода +катализатора (г), g(C+) – насыпная плотность УНМ (г/л), SSA – удельная поверхность (м²/г), V_{пор} – объём пор (см³/г), C(кат) – концентрация катализатора в УНМ (%).

Зависимость деформационно-прочностных и триботехнических характеристик полимерных композиционных материалов (ПКМ) от концентраций УНВ-01 представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Зависимость деформационно-прочностных и триботехнических характеристик ПКМ от концентрации УНВ-01

Состав	σ_p , МПа	ε_p , %	E_p , МПа	$\sigma_{сж}$, МПа			I, мг/ч	f
				5%	10%	25%		
ПТФЭ	20	310	470	10	14	23	221,9	0,16
ПТФЭ+0,5%УНВ-01	25	313	453	12	14	24	10,8	0,19
ПТФЭ+1%УНВ-01	25	306	463	12	15	25	15,8	0,21
ПТФЭ+2%УНВ-01	20	187	527	12	15	26	11,6	0,25

Примечание: σ_p – предел прочности при растяжении, МПа; ε_p – относительное удлинение при разрыве, %; E_p – модуль упругости при растяжении, МПа; $\sigma_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа; I – скорость массового изнашивания, мг/ч; f – коэффициент трения.

При введении УНВ-01 прочность композитов повышается до 25 МПа, остальные характеристики остаются на уровне исходного полимера. Износостойкость повышается до 20 раз по сравнению с ПТФЭ. Зависимость деформационно-прочностных и триботехнических характеристик полимерных композиционных материалов (ПКМ) от концентраций УНВ-02 представлены в табл. 3. При введении до 2 мас.% УНВ-02 повышается износостойкость композитов, поэтому было решено апробировать и другие концентрации наполнителя.

Таблица 3 – Зависимость деформационно-прочностных и триботехнических характеристик ПКМ от концентрации УНВ-02

Состав	σ_p , МПа	ε_p , %	E_p , МПа	$\sigma_{сж}$, МПа			I, мг/ч	f
				5%	10%	25%		
ПТФЭ	20	310	470	10	14	23	221,9	0,16
ПТФЭ+0,01 % УНВ-02	16	502	434	12	15	23	280,3	0,19
ПТФЭ+0,05 % УНВ-02	18	489	419	13	18	27	265,1	0,24
ПТФЭ+0,1 % УНВ-02	17	487	368	13	16	25	139,3	0,24
ПТФЭ+0,5 % УНВ-02	13	317	360	14	18	25	11,4	0,21
ПТФЭ+1%УНВ-02	20	433	371	13	17	23	3,8	0,25
ПТФЭ+2%УНВ-02	16	344	345	13	17	23	2,9	0,24
ПТФЭ+5%УНВ-02	9	35	335	12	16	27	0,7	0,24
ПТФЭ+5%УНВ-02 (мех.акт,конц)	18	245	538	14	17	26	0,6	0,28

Как видно из таблицы, малые концентрации УНВ-02 немного снижают прочность при растяжении при повышении относительного удлинения при разрыве. При этом зарегистрировано повышение скорости массового изнашивания композитов при содержании УНВ с 0,01 до 0,05 мас.%. Повышение износостойкости ПКМ наблюдается начиная с концентрации УНВ-02 в полимерной матрице 0,1 мас.% и далее. Таким образом установлено, что частицы УНВ, введенные в объем ПТФЭ в малых количествах (0,01-0,1 мас.%) оказывают пластифицирующее действие, выражающееся в увеличении деформируемости и уменьшении прочности полимерного композита. При введении 5 мас.% УНВ-02 снижаются прочность при растяжении и относительное удлинение, но износостойкость увеличивается в 304 раза, что возможно связано с влиянием металлических частиц катализатора на триботехнические характеристики композитов. Применяв предварительную совместную механоактивацию наполнителя и 50% ПТФЭ в планетарной мельнице «Pulverisette 5» с частотой вращения 400 об/мин в течение 2 минут при той же концентрации, мы получили композит с деформационно-прочностными характеристиками на уровне исходного ПТФЭ, а также с улучшенной износостойкостью в 370 раз по сравнению с ПТФЭ.

Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ № 122011100162-9 с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Wang, G. Enhanced properties of phthalonitrile resins reinforced by novel phthalonitrile-terminated polyaryl ether nitrile containing fluorene group [Text] / G. Wang, Y. Guo, Y. Han [et al.] // High Performance Polymers. – 2020. – Vol. 32, No. 1. – P. 3-11.
2. Xing, J. Effect of benzimidazolium salt on dispersion and properties of polyphenylene sulfide/organic clay nanocomposites via melt intercalation [Text] / J. Xing, B. Deng, Q. Liu // Fibers and Polymers. – 2015. – Vol. 16. – P. 1220-1229.
3. Li, H. Preparation and properties of a left-handed metamaterial composite [Text] / H. Li, Y. Guo, Z. Li // Philosophical Magazine Letters. – 2019. – Vol. 99, No. 5. – P. 173-184.
4. Yakobson, B.I. Nanomechanics of carbon tubes: instabilities beyond linear response [Text] / B. I. Yakobson, C.J. Brabec, J. Bernholc // Physical review letters. – 1996. – Vol. 76, No. 14. – P. 2511.
5. Мишаков, И.В. Углеродная эрозия массивного никель-медного сплава как эффективный инструмент синтеза углеродных нановолокон из углеводородов [Текст] / И.В. Мишаков, С.Д. Афонникова, Ю.И. Бауман [Текст] // Кинетика и катализ. – 2022. – Т. 63, №. 1. – С. 110-121.

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ИСКОПАЕМОЙ МАМОНТОВОЙ КОСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ **Исакова Т.А., Петухова Е.С., Павлова В.В., Соловьев Т.М., Ботвин Г.В., Чириков А.А., Петров В.В.**

ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия
tatyana_issakova@mail.ru

“DEVELOPMENT OF METHODS FOR INCREASING THE RESISTANCE OF FOSSIL MAMMOTH BONE TO EXTERNAL FACTORS DURING LONG-TERM STORAGE”

С древних времен бивни мамонта привлекали человека своей уникальной природой и драгоценными свойствами. Ископаемая мамонтовая кость (ИМК) является ценной находкой для учёных и мастеров-косторезов. И, конечно же, самым известным регионом для добычи и использования бивней мамонтов (БМ) является Якутия, благодаря своему климату и вечной мерзлоте [1, 2]. В традиционной якутской культуре бивень мамонта имеет особое место. Мастера по обработке кости создают уникальные предметы искусства, которые являются не только прекрасными произведениями, но и ценятся как настоящие сокровища. Одной из главных проблем при хранении ИМК после добычи до косторезной обработки является сохранение целостности материала. Под воздействием неблагоприятных условий БМ может разрушаться и растрескиваться [3]. В связи с этим, были проведены исследования направленные на разработку способов повышения стойкости ИМК к воздействию внешних факторов при длительном хранении.

Для исследования были вырезаны образцы кубической формы с размерами сторон $\approx 1 \times 1 \times 1$ см с помощью ленточной пилы из срединной части фрагментов бивня мамонта.

Образцы экспонировали в течение 1 года в следующих условиях: 1) закрытое отапливаемое помещение (комнатная температура); 2) под навесом на климатическом испытательном полигоне «Якутск», имитируя условия хранения в неотапливаемых помещениях (температура и влажность окружающей среды); 3) в морозильной камере (температура минус $15 \pm 5^\circ\text{C}$, влажность $25 \pm 5\%$).

Для защиты БМ от воздействия факторов окружающей среды использовали следующие методы:

- окрашивание эмалью. Для исследования использовали эмаль универсальную алкидную матовую (ТУ 20.30-025-53934955-2017 фирмы KUDO) белого цвета;

- оборачивание в плотную черную пленку. Данный подход был предложен в связи с тем, что одним из основных факторов, оказывающих негативное деструктивное воздействие на материал, является солнечное излучение. Пленка, содержащая пигмент, способствует поглощению наиболее вредной части солнечного излучения – УФ-излучения;

- обработка антибактериальным составом (АБС2) на основе молочной кислоты. Состав безвреден для окружающей среды и полностью биоразлагается в течение 3-6 месяцев. При выборе состава АБС2 ориентировались на результаты микробиологического исследования, проведенного в 2020 г. Учитывался состав микроорганизмов, наиболее часто обнаруживаемых в смывах с поверхности образцов [4].

- обработка антибактериальным составом (АБС2) на основе молочной кислоты и оборачивание в плотную черную пленку.

Для сравнения в заданных условиях экспонировались образцы из БМ необработанные ни одним из указанных способов.

Контрольными показателями являлись прочность при сжатии, изменение массы и трещинообразование. Определение изменения массы проводилось путем взвешивания образцов до и после экспонирования. Показатель прочности при сжатии определяли на универсальной испытательной машине Z600 (Zwick/Roell, Германия). Образцы во время сжатия были расположены так, чтобы нагрузка была направлена вдоль тела бивня. Трещинообразование оценивалось на основании изучения снимков, полученных с использованием цифрового микроскопа «ККМОООН G1200» (КНР) (x28 раз).

Исследования показали, что в условиях отапливаемого помещения изменение массы и прочности зависит от влажности воздуха. Образцы, которые имеют наиболее высокие значения прочности, характеризуются наибольшей потерей влаги, и наоборот. Трещинообразование выявлено у образцов, обработанных АБС2.

У образцов, хранившихся в морозильной камере, наименьшее изменение массы и прочности характерно для окрашенных образцов, а также образцов обработанных АБС2, обернутых и не обернутых в пленку, причем разброс исследуемых показателей значительно уже, по сравнению с образцами, экспонирование которых осуществлялось в отапливаемом помещении (Рисунок 1). В морозильной камере после 6 месяцев экспонирования у всех видов образцов выявлено трещинообразование. Поскольку хранение в морозильной камере способствует сохранению физико-механических свойств на достаточно стабильном уровне, данный метод хранения не следует полностью исключать, однако перед помещением в морозильную камеру, образцы следует медленно просушить.

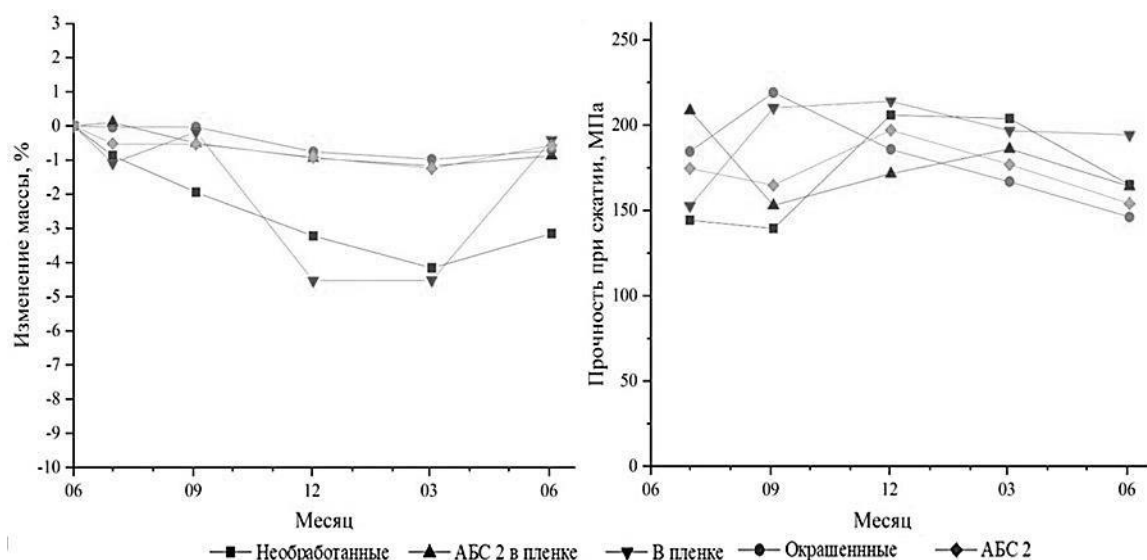


Рисунок 1 – Изменение массы и прочности при сжатии образцов после 1, 3, 6, 9 и 12 месяцев экспонирования в морозильной камере

При хранении под навесом выявлено, что наибольшая влагопотеря зафиксирована для необработанных образцов. Наиболее стабильным уровнем свойств характеризуются образцы, окрашенные эмалью, а также обработанные АБС2 в пленке и без пленки. Хранение под навесом в условиях естественных перепадов температур приводит к растрескиванию всех исследованных образцов.

Таким образом, при длительном хранении БМ следует обеспечить стабильные показатели температуры и влажности. Из всех методов повышения стойкости хорошие результаты показали методы окрашивания эмалью, а также оборачивание в пленку обработанных антибактериальным составом БМ.

Выражаем благодарность ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант №13.ЦКП.21.0016) за возможность проведения исследований на научном оборудовании Центра. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ НИОКТР № 122042000008-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Боескоров, Г.Г. Ресурсы мамонтового бивня на севере Якутии [Текст] / Г.Г. Боескоров, Н.Д. Кириллин, П.А. Лазарев, В.В. Тесцов // Проблемы региональной экологии. – 2008. – №. 2. – С. 106-109.
2. Кириллин, Н.Д. Методологические основы рационального пользования особым геокриогенным минеральным ресурсом - ископаемой мамонтовой костью [Текст]: дисс. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.11. / Кириллин Николай Дмитриевич. – Москва, 2011. – 185 с.
3. Соловьев, Т.М. Влияние условий хранения на физические свойства бивней мамонтов [Текст] / Т.М. Соловьев, Е.С. Петухова, Г.В. Ботвин [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2021. – №. 11. – С.14-19.
4. Исакова, Т.А. Исследование особенностей биозаражения бивней мамонта при длительном хранении в различных условиях [Текст] / Т.А. Исакова, Е.С. Петухова, В.В. Павлова, Л.А. Ерофеевская // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2021. – №. 3. – С.75-85.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПТФЭ, НАПОЛНЕННОГО СЛОИСТЫМИ СИЛИКАТАМИ

**Капитонова Ю.В., Тарасова П.Н., Охлопкова А.А., Лазарева Н.Н., Борисова Р.В.,
Капитонов Е.А.**

СВФУ, Якутск, Россия

Kapitonova-kirillina@mail.ru

“RESEARCH OF THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL BASED ON PTFE FILLED BY LAYERED SILICATES”

Разработка износостойких полимерных композиционных материалов является одной из актуальных задач современного материаловедения, поскольку развитие современной техники невозможно без создания материалов с улучшенными и новыми свойствами. В число эффективных способов для достижения этой цели входит использование изначально обладающей уникальными свойствами полимерной матрицы. Наиболее подходящим и широко применяемым в технике является политетрафторэтилен (ПТФЭ). По своему комплексу физико-химических и механических свойств ПТФЭ превосходит все известные полимеры. Незаменим он в узлах «сухого» трения, поскольку обладает низким коэффициентом трения по стали и самосмазывающими свойствами. Однако из-за низкой износостойкости и высокой ползучести политетрафторэтилен в чистом виде не используется в узлах трения. Эти недостатки достаточно эффективно устраняются при введении наполнителей. При этом наблюдается улучшение ряда механических, теплофизических, барьерных свойств и других функциональных свойств полимеров. В качестве материала наполнителей в данной работе предложены слоистые силикаты, такие как серпентин и флогопит.

В работе представлены результаты исследования триботехнических характеристик и структурных исследований поверхности трения композитов. Степень наполнения составляет от 0,5 мас. % до 5 мас. %. Скорость изнашивания и коэффициент трения определяли на машине трения УМТ-3 (СЕТР) по схеме трения «палец-диск» при нагрузке 2 МПа. Для структурных исследований привлечены методы растровой электронной микроскопии, ИК-спектроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Исследование поверхности трения композитов проводили на растровом электронном микроскопе Jeol JSM-7800F. Исследование методом РФЭС проводилось на спектрометре K-Alpha / Thermo scientific. Съемку проводили на излучении AlK_{α} при мощности 100 W и напряжении 12 kV. Диаметр области анализа составлял 30 ~ 400 μm . Инфракрасные спектры образцов снимали на спектрометре FTS 7000 Varian.

В работе приведены результаты триботехнических испытаний композитов на основе ПТФЭ и слоистых силикатов. Анализ результатов триботехнических испытаний показывает, что композиты характеризуются повышенной износостойкостью и низким коэффициентом трения. Наблюдается снижение скорости массового изнашивания в 1136 раз по сравнению с исходным полимером и с сохранением низкого значения коэффициента трения.

Коэффициент трения и износостойкость твердых слоистых смазок в значительной степени зависят от внешних условий: скорости скольжения, нагрузки, времени неподвижного контакта и ряда других факторов [3]. Одним из основных факторов значительного улучшения износостойкости материалов связано с глубиной протекания трибохимических процессов в ходе фрикционного взаимодействия. Известно, что при фрикционном нагружении происходит химическая активация взаимодействующих поверхностей: полимерные молекулы разрываются по химическим связям главных валентностей,

происходит отщепление боковых групп и возникают активные центры. Такой разрыв является следствием не только механодеструкции, но и термодеструкции, связанной интенсивным тепловыделением на контакте. Для исследования процессов, протекающих на поверхности трения композита и контртела, были применены методы ИК - спектроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Методом РФЭС показано, что процесс трения сопровождается процессами деструкции полимера. Содержание кислорода в образцах после трения составляет 20.96%, что говорит об его участии в протекании процесса деструкции полимера. Отношение F/C образца ПТФЭ после трения падает до 1,24, композита до 0,25.

Анализ ИК-спектров позволил выявить, что трибоокислительная деструкция композитов, приводит к образованию карбоксилатных групп, которые, очевидно, играют роль ингибиторов дальнейшего окисления макромолекул.

При определенных нагрузке, скорости скольжения и температуре в зоне трения трибодеструкция может приводить к образованию фрагментов макромолекул, обладающих достаточной подвижностью и обеспечивающих их ориентацию в нанометровых поверхностных слоях. Дальнейший процесс приводит к протеканию структурирующих процессов, в виде сшивки отдельных фрагментов термоокислительного распада макромолекул и формированию сшитой, более упорядоченной, плотно упакованной структуры, характеризующейся повышенной износостойкостью. Названные процессы, а также увеличение адгезии к контртелу пленки фрикционного переноса, благодаря высокой активности ультрадисперсных наполнителей, способствуют существенному повышению износостойкости модифицированного ПТФЭ.

Выявлено, что снижение коэффициента трения композитов связано с вытеснением на поверхность трения частиц минерала в результате фрикционного взаимодействия, которые воспринимают нагрузку, препятствуя разрушению и изнашиванию (рис. 1).

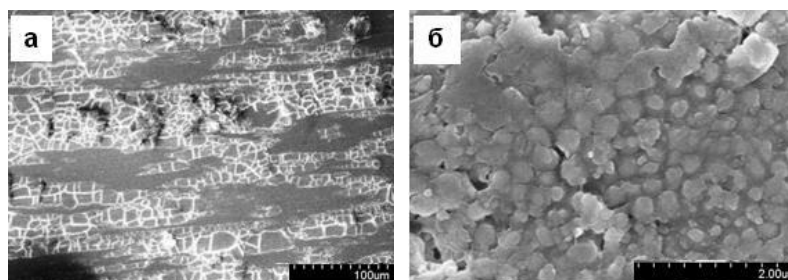


Рисунок 1 – а, б) Микрофотографии поверхности трения композита, содержащего 2 мас. % серпентина

Таким образом, на основании комплексного исследования структуры поверхности трения композитов показано, что модификация ПТФЭ слоистыми силикатами вызывает трибохимические реакции в процессе изнашивания. Наполнители выступают в роли катализаторов сшивки отдельных фрагментов трибораспада ПТФЭ, что приводит к повышению износостойкости материала. Показано, что наполнение ПТФЭ слоистыми силикатами приводит к значительному снижению скорости массового изнашивания в 1136 раз по сравнению с исходным полимером.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадание Минобрнауки РФ в сфере научной деятельности №FSRG-2021-0016.

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПТФЭ-КОМПОЗИТОВ В КАЧЕСТВЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СЛОЕВ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ С ШАРОВЫМ СЕГМЕНТОМ

Адамов А.А.¹, Келлер И.Э.¹, Петухов Д.С.¹, Гракович П.Н.², Шилько И.С.²

¹ИМСС УрО РАН, Пермь, Россия, ²ИММС им. В.А.Белого, Гомель, Беларусь

kie@icmm.ru

“EVALUATION OF THE PERFORMANCE THE PTFE-COMPOSITES AS ANTIFRICTION LAYERS IN SUPPORTING PARTS WITH SPHERICAL SEGMENT”

Наполненные композиты на основе политетрафторэтилена применяются в качестве антифрикционных слоев опорных частей с шаровым сегментом, поскольку имеют необходимое сочетание свойств, позволяющих работать при высоких контактных давлениях, возвратно-

поступательном характере сдвиговых нагрузок и в широком диапазоне температур. Для первичной оценки работоспособности ряда наполненных полимерных композитов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) в качестве материала антифрикционных слоёв исследованы при комнатной температуре на твёрдость по Бринеллю, жёсткость при свободном сжатии до 10 % деформации, жёсткость при стеснённом сжатии до 160 МПа, коэффициенты трения и стойкость к реверсивному скольжению по схеме плоскость по плоскости полированной аустенитной нержавеющей стали в качестве контртела. Исследовались семь видов композитов на основе ПТФЭ, наполненных коксом, бронзой, коллоидным графитом, а также модифицированным углеродным волокном с фторполимерным покрытием и различными добавками (композиты семейства Суперфлувис). По совокупности показателей композиты семейства Суперфлувис превосходят материалы, наполненные коксом либо бронзой, а материал, наполненный коллоидным графитом в качестве основного наполнителя, не выдержал испытания на стойкость к реверсивному скольжению. Подтверждена работоспособность композита Суперфлувис на основе ПТФЭ ПН90 в испытаниях реверсивным скольжением при давлении 65 МПа на дистанции 10000 м [1, 2].

Для моделирования упруговязкопластического поведения таких материалов в условиях эксплуатации требуются адекватные определяющие уравнения и методы их идентификации по данным базовых экспериментов. Предложено идентифицировать модель по данным экспериментов на свободное сжатие образцов, подвергаемых циклу нагружения до максимальной деформации 10%, выдержки с последующей разгрузкой и аналогичному циклу нагружения до 160 МПа при стесненном сжатии. Данные испытания для композита на основе политетрафторэтилена, наполненного 40 масс. % мелкодисперсной бронзы, были проделаны при комнатной температуре, причем испытания на стесненное сжатие выполнялись для двух, а свободное сжатие – для трех значений скорости деформации в диапазоне 10^{-6} – 10^{-3} с⁻¹. Для описания этих данных рассматривались две модели упруговязкопластичности, представляющие собой модификации моделей Свейна и Клечковски и соответствующие соединению вязкоупругого либо упруго-нелинейновязкого элемента с пластическим или эндохронным элементами. Обе модели корректно описали поведение исследованного фторкомпозита в условиях нагружения, близких к условиям эксплуатации антифрикционных слоев опорных частей с шаровым сегментом, и могут рассматриваться в качестве основы для их дальнейшего обобщения с учетом зависимости от температуры [3].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-48-596012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Адамов, А.А. Оценка работоспособности антифрикционных ПТФЭ-композитов при давлении свыше 60 МПа. I. Сравнение твердости и деформационных свойств в условиях свободного и стесненного сжатия [Текст] / А.А. Адамов, И.Э. Келлер, С.Г. Острер, Д.В. Селетков // Механика композитных материалов. – 2022. – Т. 58. – С. 673–688.
2. Адамов, А.А. Оценка работоспособности ПТФЭ-композитов в качестве антифрикционных слоев опорных частей с шаровым сегментом [Текст] / А.А. Адамов, И.Э. Келлер, Д. С. Петухов [и др.] // Трение и износ. – 2023. – Т. 44, №. 3. – С. 201-211.
3. Петухов, Д.С. Выбор и идентификация модели упруговязкопластичности наполненного фторкомпозита по данным испытаний на свободное и стесненное сжатие [Текст] / Д.С. Петухов, А.А. Адамов, И.Э. Келлер // Advanced Engineering Research. – 2022. – Т. 22, №. 3. – С. 180-192.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ключко П.В.¹, Антонов А.С.¹, Струк В.А.¹, Крутько Э.Т.²

¹ГрГУ им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь; ²БГТУ, Минск, Беларусь

antonov.science@gmail.com

“COMPOSITE MATERIALS FOR SPECIAL FUNCTIONAL PRODUCTS”

Изделия специального функционального назначения находят широкое применение в различных аспектах деятельности социумов. К числу таких изделий относят инъекторы для введения в организм человека веществ определенного состава и назначения, насадки для лечения отоларингологических заболеваний, карданные валы автотранспортной и специальной техники и ряд других конструкций,

которые обеспечивают реализацию заданных функций в специфических условиях применения. Эффективными технологиями изготовления таких изделий являются технологии литья под давлением и 3d-печати, которые предполагают использование специальных композиционных материалов на основе термопластов промышленного производства.

Разработаны оригинальные конструкции инжектора для введения специальных компонентов в экстремальных условиях и насадки для лечения отоларингологических заболеваний, которые изготавливают современными технологиями из термопластичных композитов на основе промышленных полиамидов и полиолефинов [1, 2].

Для изготовления конструктивных элементов инжектора (фиксатора, крышки, корпуса, штока) разработаны составы композиционных материалов на основе промышленных полиолефинов (ПЭВД) и полиамидов (ПА6), модифицированных полиамидной смолой (ПС), хитозаном (ХТ) и органоглиной (ОГ). Модельные эксперименты показали, что наиболее целесообразно использование композитов следующего состава: 1) ПА6(98,0 мас.%) + ПС(1,0 мас.%) + ХТ(1,0 мас.%) ; 2) ПА6(98,0 мас.%) + ПС(1,0 мас.%) + ОГ(1,0 мас.%) ; 3) ПЭВД(98,0 мас.%) + ПС(1,0 мас.%) + ХТ(1,0 мас.%) ; 4) ПЭВД(98,0 мас.%) + ПС(1,0 мас.%) + ОГ(1,0 мас.%) . Анализ элементного состава и спектра флуоресценции хитозана в диапазоне температур переработки композитов (433–553 К) свидетельствует о термической устойчивости ХТ и ОГ. При этом наблюдается разрушение исходной структуры ОГ на наноразмерные фрагменты. Введение в состав композиции ПС способствует распределению дисперсных частиц и пластификации поверхностных слоев фрагментов – гранул и филаментов. Исследование параметров деформационно-прочностных характеристик композиционных материалов показало увеличение параметров предела прочности при растяжении σ_p , и при изгибе σ_n при сохранении высоких значений деформационных характеристик.

Характерной особенностью разработанных композиционных материалов является проявление ими выраженных бактерицидных свойств, обусловленных энергетическим состоянием дисперсных частиц хитозана (ХТ) и наноглины (ОГ), что позволяет повысить устойчивость изделий из них к воздействию неблагоприятных биохимических процессов в условиях применения. При этом параметры реологических характеристик композитов на основе ПА6, находящиеся в диапазоне значений ПТР 9,56–12,38 г/10 мин, и композитов на основе ПЭВД при значениях ПТР 12,24–12,68 г/10 мин позволяет осуществлять изготовление элементов изделий методом литья под давлением или 3d-печати.

Для изготовления металлополимерных конструкций специального назначения – карданных передач грузового, железнодорожного транспорта разработаны составы композиционных материалов с повышенными параметрами характеристик и устойчивостью к воздействию термоокислительных сред и праймер, увеличивающий адгезию покрытия из композита к стальной подложке.

Для обеспечения заданных параметров адгезионных характеристик покрытий из композиционного материала использовали праймер на основе полиамидной смолы (ПС), содержащей наноразмерные углеродсодержащие частицы (коллоидный графит, УДА, УДАГ), целлюлозосодержащие продукты (микроцеллюлоза, этилцеллюлоза, карбоксилцеллюлоза) в количестве 0,01–0,10 мас.%. Нанесенный праймер подвергали термоактивационной обработке при температуре 553–593 К в течение 10–15 мин, после чего наносили покрытие методом псевдооживленного слоя, используя порошкообразную субстанцию композита на основе ПА6. Использование разработанного праймера позволяет осуществить полноценную замену импортного аналога «Primgreen» при сохранении технологических режимов формирования покрытия шлицевых соединений карданных валов различного назначения.

Технология 3d-печати является одной из технологий для изготовления конструктивных элементов со сложной геометрической формой, предназначенных для обеспечения функционирования различных устройств, в том числе специального применения. Композиционные материалы на основе термопластов для применения в технологии 3d-печати должны удовлетворять комплексу характеристик, учитывающих особенности формирования изделий путем направленной укладки филаментов, находящихся в вязко-текучем состоянии.

Для разработки составов филаментов использовали композиционные материалы на основе промышленных термопластов класса алифатических полиамидов, полиэфиров (ПЭ) и полиолефинов: ПА6.6 + ПА6(10 мас.%) + ПА12 (5 мас.%) + Irganox 1010 (1 мас.%) ; ПА6 + ПЭТФ(10 мас.%) + Irganox 1010 (1 мас.%) ; ПА6 + ПЭВД(10 мас.%) + Irganox 1010 (1 мас.%) . Получение модельных образцов осуществляли на двухшнековом экструдере Rondol, обеспечивающем термомеханическое совмещение высокомолекулярных компонентов с высокой эффективностью. При разработке составов композитов использовали различные методологические подходы – совмещение матричного полимера с более низкоплавким компонентом близкого или отличающегося состава и совмещение матричного полимера с дисперсными частицами с использованием компонента с близким молекулярным

строением. Реологические характеристики расплавов композиционных материалов находятся в пределах значений ПТР от 12,4 до 15,8 г/10 мин, что позволяет применять метод послойного наплавления филаментов. При этом при введении в состав высокоплавкого полиамида ПА6.6 более низкоплавких полиамидов ПА6, ПА12 удается получить структуру без выраженного разделения компонентов (рисунок), характерного для других смесей.

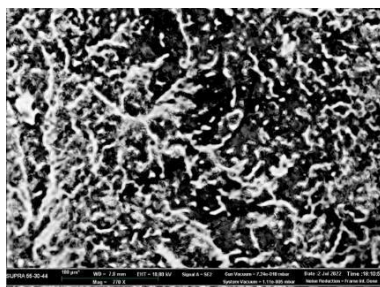


Рисунок 1 – Характерная морфология образца композита ПА6.6 + ПА6(10 мас.%) + ПА12(5 мас.%) + Irganox 1010 (1 мас.%). Скол в азоте

Результаты исследований деформационно-прочностных характеристик композитов показали, что прочность при разрыве модельных образцов, полученных литьем под давлением, составляет 79,9 МПа, при аддитивном формовании при укладке нити вдоль усилия растяжения – 59,6 МПа и поперек усилия растяжения – 40,9 МПа. Полученные экспериментальные данные позволили рекомендовать составы, содержащие близкие по молекулярному строению компоненты, для изготовления изделий методом 3d-печати.

Таким образом, проведенные исследования позволили разработать составы композиционных материалов на основе промышленных полимеров отечественного производства для получения изделий специального функционального назначения с повышенными параметрами служебных и технологических характеристик.

Исследования проводились в рамках выполнения проекта БРФФИ №Т22-075 «Механизмы структурообразования нанокомпозитов на основе диффузионно-модифицированных термопластов» и задания 5.6 «Исследование процессов создания и использования полимерных упаковочных материалов для обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов» НИР «Исследование процессов структурообразования термопластичных нанокомпозитов для получения плёночных полуфабрикатов с повышенными параметрами характеристик» подпрограммы «Продовольственная безопасность» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021-2025 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ключко, П.В. Нанокомпозиционные полимерные материалы для изделий специального назначения [Текст] / П.В. Ключко, И.В. Капцевич, Ю.С. Ковалевский; науч. рук. В.А. Струк // Актуальные вопросы физики и техники: IX Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 23 апреля 2020 г. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – С. 56-58.
2. Вань, С. Конструкция, материалы и технология импортозамещающего инжектора для специальных применений [Текст] / С. Вань, П.В. Ключко, А.С. Минаев // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения: сб. материалов VI Междунар. науч. конф. молодых ученых, Гродно, 2 июня 2022 г. – Гродно: ГрГУ им. Янки Купалы, 2022. – С. 25–34.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЯКУТИИ НА СВОЙСТВА СВМПЭ И ПКМ НА ЕГО ОСНОВЕ

Колесова Е.С., Гоголева О.В

ИПНГ СО РАН, г. Якутск, Россия

lenok27294@mail.ru

“STUDY OF THE INFLUENCE OF CLIMATIC CONDITIONS OF YAKUTIA ON THE PROPERTIES OF UHMWPE AND PCM BASED ON IT”

В работе приведены результаты сравнительных исследований физико-механических свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и модифицированных полимерных

композиционных материалов (ПКМ) до и после стендовых натуральных испытаний на экспериментальном участке климатического полигона в г. Якутске.

Установлено, что в условиях резко-континентального климата Якутии сверхвысокомолекулярный полиэтилен и композит, содержащий 5 мас.% углеродных волокон марки «Белум», подвергаются старению уже к четвертому месяцу экспонирования. В связи с этим сверхвысокомолекулярный полиэтилен модифицировали не только углеродными волокнами для повышения физико-механических и триботехнических показателей, а также вводили стабилизатор марки «СО-4» производства НИОХ СО РАН, препятствующий, в первую очередь, развитию деструктивно-окислительных процессов в композиционном материале. Установлено, что композит на основе СВМПЭ с добавлением 0,5 мас.% стабилизатора сохраняет эластичность и прочность на уровне неэкспонированного образца в течение 14 месяцев.

Выявлено, что дополнительная модификация композита СВМПЭ-УВ стабилизатором марки СО-4 приводит к замедлению окислительно-деструктивных процессов композита на открытом воздухе, что положительно сказывается на сохранении физико-механических показателей длительное время в условиях воздействия неблагоприятных климатических факторов. Этот факт позволяет прогнозировать высокую работоспособность изделий из разработанного материала в условиях резко-континентального климата Якутии.

Известно, что при длительном воздействии низких или высоких температур, а также при перепаде температур, при замерзании и оттаивании влаги при взаимодействии материала с окружающей средой, в полимерах происходят структурные и химические превращения. В полимерных матрицах комплекс этих процессов протекает различно. У одних полимеров структурные изменения протекают достаточно быстро, и это может стать причиной сокращения долговечности их эксплуатации. В других материалах, например, с низкой химической стойкостью, при взаимодействии со средой могут происходить химические превращения, существенно влияющие на технические показатели. Климатические испытания помогают не только определять текущее изменение свойств материала, но и прогнозировать изменение данных свойств в определенном будущем [1, 2].

В связи с этим, с целью определения степени воздействия различных климатических и погодных условий на физико-механические свойства сверхвысокомолекулярного полиэтилена и композиционного материала на его основе проведены климатические испытания сроком 12 месяцев.

В ранее проведенных работах было показано, что оптимальным комплексом эксплуатационных характеристик обладает композит, содержащий 5 мас. % углеродного волокна марки «Белум». В связи с этим климатические испытания проводились на данном композиционном материале. Образцы в виде пластин были выставлены в марте 2019 г. на открытом климатическом испытательном полигоне при естественных атмосферных условиях г. Якутска РС(Я). Испытания проводились через 1, 3, 6, 9 и 12 месяцев.

По результатам исследований было установлено, что относительное удлинение немодифицированного СВМПЭ повышается в 1,6 раз после экспонирования в течение 3 месяцев, затем после 6 месяцев экспонирования на открытом воздухе эластичность у СВМПЭ резко падает до 22 раз по сравнению с исходным полимером. При испытании на растяжение у экспонированных образцов в течение 6, 9 и 12 месяцев наблюдается хрупкое разрушение. В течение всего экспонирования наблюдалось монотонное снижение прочности при разрыве. Прочность образца, выставленного 12 месяцев, ухудшилась почти в 2 раза. Выявлено, что образцы СВМПЭ и композиты на его основе, модифицированные УВ в условиях РС(Я) подвергаются старению, сопровождающейся изменением их молекулярной структуры, приводящей к потере эластичности, снижению прочности, повышению жесткости и хрупкости [3].

Таким образом, сверхвысокомолекулярный полиэтилен и композиты на его основе для эксплуатации на открытом в воздухе в климатических условиях Республики Саха (Якутия) необходимо модифицировать не только наполнителями для повышения физико-механических и триботехнических показателей, но также защитить их от старения с использованием стабилизаторов, препятствующих, в первую очередь, развитию деструктивно-окислительных процессов.

Был выбран стабилизатор марки СО4, разработанный в НИОХ СО РАН, т.к. он обладает уникальным сочетанием полезных свойств: – нетоксичен (относится к III–IV классам опасности по ГОСТ 12.1007.76); – не окрашивает полимерные материалы; – практически не летуч и термостабилен при температурах выше 250 °С; – улучшают прочность, стойкость на изгиб и долговечность, устойчивость к механической нагрузке изделий из полимерных материалов [4].

Результаты исследований физико-механических свойств СВМПЭ, композита на основе СВМПЭ и УВ, композита со стабилизатором, подвергнутых натурной экспозиции в климатических условиях г. Якутска, представлены на рис.

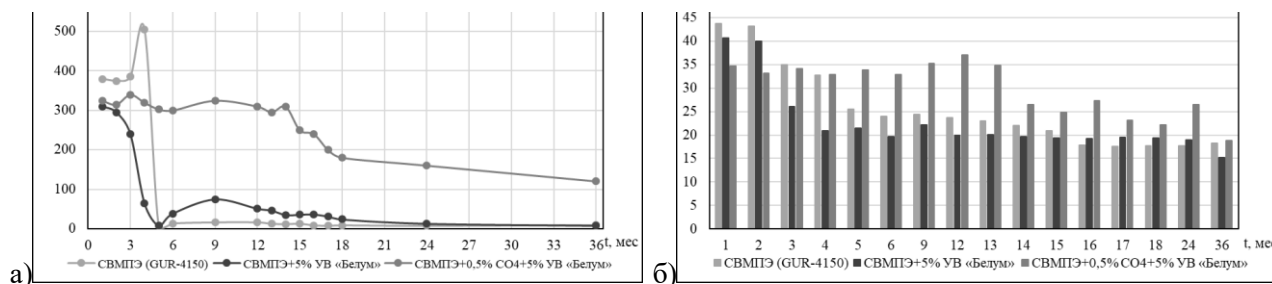


Рисунок 1 – Зависимость относительного удлинения (а) и предела прочности (б) СВМПЭ, СВМПЭ+5мас.%УВ и СВМПЭ+0,5мас.%СО-4+5мас.%УВ от времени экспонирования

Из рис. 1 видно, ПКМ на основе СВМПЭ, содержащий 0,5 мас.% СО-4, сохраняет свои деформационно-прочностные свойства на уровне неэкспонированного образца в течение 14 месяцев, тогда как СВМПЭ и композит без стабилизатора теряют эластичность и прочность уже к 4 месяцу экспонирования. Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что дополнительная модификация композита СВМПЭ-Белум стабилизатором марки СО-4 приводит к замедлению окислительно-деструктивных процессов композита на открытом воздухе, что положительно сказывается на сохранении физико-механических показателей при воздействии климатических факторов Якутии на уровне исходного композита.

Установлено, что сверхвысокомолекулярный полиэтилен и композит на его основе, модифицированный углеродным волокном, с 4 месяца натурной экспозиции в среде окружающего воздуха на климатическом полигоне, расположенном в г. Якутске, начинают подвергаться процессам старения. Установлено, что модифицирование ПКМ стабилизатором марки «СО-4» позволяет сохранять деформационно-прочностные свойства материала на уровне неэкспонированного образца в течение 14 месяцев, что подтверждает высокую работоспособность изделий из разработанного материала в условиях резко-континентального климата Якутии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Каблов, Е.Н. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) [Текст] / Е.Н. Каблов, В.О. Старцев // Авиационные материалы и технологии. – 2018. – №. 2(51). – С. 47–58.
2. Petukhova, E.S. Investigation of the climate resistance of stabilized polyethylene composite materials [Text] / E.S. Petukhova, A.L. Fedorov // Procedia Structural Integrity. – 2019. – Vol. 20. – P. 75-80.
3. Черезова, Е.Н. Старение и стабилизация полимеров [Текст] / Е.Н. Черезова, Н.А. Мукменева, В.П. Архиреевы. – Казань: Изд-во Казанского нац. исслед. технол. ун-та, 2012. – 150 с.
4. Петухова, Е.С. Климатические испытания полиэтиленовых композиционных материалов, содержащих различные стабилизирующие добавки [Текст] / Е.С. Петухова, А.Л. Федоров // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24, №. 4. – С. 169-178.

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРОСТОЙКОСТИ ЭКСТРУДИРУЕМЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ

Кондаков М.Н., Гоголева О.В., Федоров А.Л., Петрова П.Н.

ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

kondakovmix@mail.ru

“INVESTIGATION OF ATMOSPHERIC RESISTANCE OF EXTRUDABLE COMPOSITES BASED ON UHMWPE”

Экстремальные климатические условия Якутии оказывают сильное влияние на эксплуатационные свойства полимеров посредством химических и структурных превращений [1-3]. Поэтому необходимо проводить климатические испытания, чтобы прогнозировать изменение свойств полимерных

материалов. В данной работе представлены результаты исследования атмосферостойкости экструдированных композитов на основе СВМПЭ.

В ходе работы исследуемые образцы были изготовлены из следующих компонентов:

- сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) производства Ticona (Германия) марки GUR-4113 с молекулярной массой $3,9 \cdot 10^6$ г/моль;
- полиэтилен низкого давления (ПЭНД1) производства ОАО «Казаньоргсинтез» (Россия) марки 273-83;
- полиэтилен низкого давления (ПЭНД2) производства Ticona (Германия) марки GUR GHR 8020;
- фторопласт производства ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк» (Россия) марки Ф-32ЛН;
- стеариновая кислота (СК) производства «Компонент-реактив» (Россия).

Состав исследуемых полимерных композиционных материалов (ПКМ) был следующим:

- ПКМ 1: СВМПЭ + 5 мас.% ПЭНД1 + 5 мас.% СК;
- ПКМ 2: СВМПЭ + 10 мас.% ПЭНД1 + 5 мас.% СК;
- ПКМ 3: СВМПЭ + 5 мас.% Ф-32ЛН + 5 мас.% СК;
- ПКМ 4: СВМПЭ + 5 мас.% ПЭНД2 + 5 мас.% СК.

Смешение исходных смесей проводилось в роторном смесителе пластикордера PL 2200-3 фирмы Brabender (Германия) при температуре 180 °С и скорости вращения валков 10 об/мин в течение 10 мин. Полученный образец механически измельчали, затем экструдировали в ленты шириной 2 см и толщиной 1,5 мм.

Старение ПКМ проводилось в лабораторной испытательной камере с металлическими стенками, где в качестве источника ультрафиолетового излучения использовалась лампа дуговая ртутная трубчатая ДРТ-1000 высокого давления с лучистым потоком в спектральном интервале 240-320 нм. Образцы вывешивали вокруг этой лампы. Испытание проводилось в 5 этапов по 8 часов. Температура внутри камеры во время излучения составляла 60–80 °С. После каждого этапа измерялись масса, плотность и показатель текучести расплава (ПТР) образцов.

Предел текучести расплава исследовали с помощью пластометра XNR-400В (Китай) при температуре 190 °С при нагрузке 5 кг.

Физико-механические характеристики при растяжении исследовали по ГОСТ 11262-80 на испытательной машине UTS-20К (Германия) при комнатной температуре и скорости раздвижения захватов 50 мм/мин.

На рис. 1. представлены графики зависимости потери массы, плотности и ПТР образцов от времени облучения. Обнаружено, что с увеличением времени облучения масса образцов уменьшается. Стоит отметить, что после 40 часов облучения потеря массы приближается к массе стеариновой кислоты в ПКМ.

С увеличением времени облучения плотность образцов увеличивается умеренно, при этом ПКМ 3, имеющий в составе фторопласт Ф-32ЛН, демонстрирует большую плотность по сравнению с остальными тремя.

Из рис. 1в видно, что наибольшую текучесть демонстрирует ПКМ 4 с добавлением полиэтилена низкого давления марки GUR GHR 8020. Для всех образцов значение ПТР сначала уменьшается с ростом времени облучения, затем после 24-32 часов испытания начинает постепенно увеличиваться.

Исследование физико-механических характеристик показало, что для всех образцов после 8 часов облучения наблюдается резкое ухудшение относительного удлинения при разрыве (ϵ_p) (уменьшилось в 44-58 раз) и предела прочности при растяжении (σ_p) (уменьшилась в 1,3-1,8 раз). Значение модуля упругости (E_m) не изменилось.

Результаты ИК-спектроскопии показали, что после облучения в течение 8 часов полосы, характеризующие стеариновую кислоту, исчезают, следовательно, следовательно, происходит ее вымывание из ПКМ. Данные результаты хорошо согласуются с потерей массы при облучении.

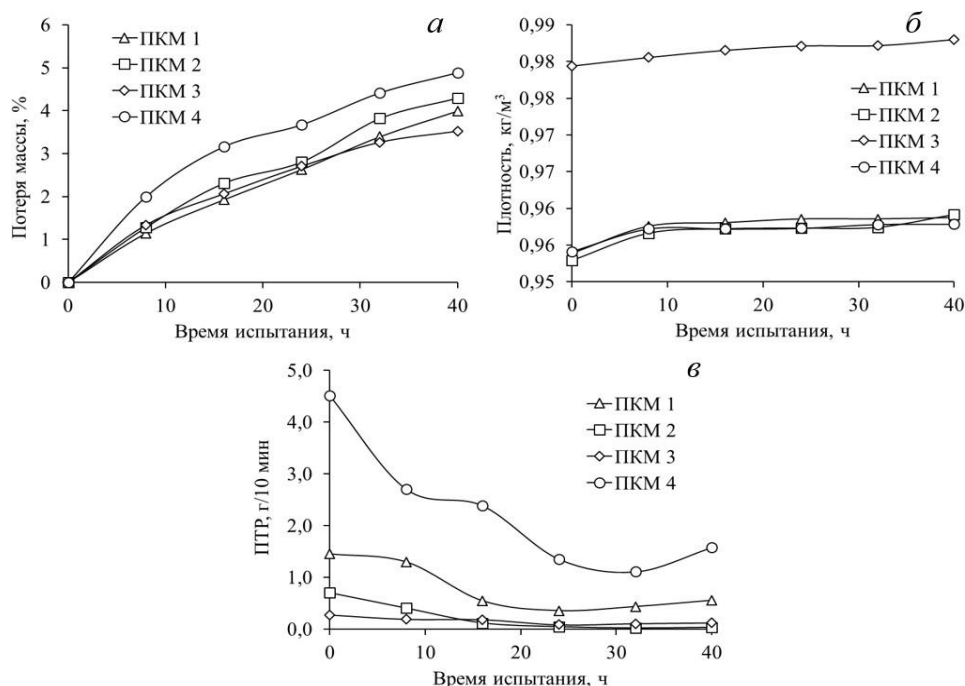


Рисунок 1 – Зависимости потери массы (а), плотности (б) и ПТР (в) от времени испытания

Исследования, проведенные методом ДСК, показали, что степень кристалличности для ПКМ 1 после 8 часов облучения увеличилось с 54,8 % до 64,8 %.

Было также проведено исследование влияния стабилизатора марка СО-4 производства НИОХ СО РАН (Россия) на климатическую стойкость образцов. Так как ПКМ с добавлением 0,5 мас.% СО-4 не экструдировались образцы изготовили методом горячего прессования при температуре 180 °С. После облучения массы образцов также уменьшились, однако физико-механические характеристики образца со стабилизатором практически не изменились.

Таким образом, ускоренными климатическими испытаниями показано, что экструдированные композиты на основе СВМПЭ подвергаются процессам фотоокислительного старения. При этом добавление стабилизатора СО-4 улучшает климатическую стойкость ПКМ на основе СВМПЭ, однако из-за пространственно-затрудненного строения СО-4 заметно ухудшается текучесть материалов, что делает их неэкструдированными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Costa, L. Mechanisms of cross-linking, oxidative degradation, and stabilization of UHMWPE [Text] / L. Costa, P. Bracco // UHMWPE biomaterials handbook. – William Andrew Publishing, 2016. – P. 467-487.
- Гоголева, О.В. Изучение свойств и структуры композитов на основе СВМПЭ, экспонированных в условиях Якутии [Текст] / О.В. Гоголева, П.Н. Петрова, Е.С. Колесова // EURASTRENCOLD-2022. – 2022. – С. 96-100.
- Петухова, Е.С. Климатические испытания полиэтиленовых композиционных материалов, содержащих различные стабилизирующие добавки [Текст] / Е.С. Петухова, А.Л. Федоров // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24, №. 4. – С. 169-178.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ОТ ЕГО СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Кропотин О.В., Рогачев Е.А., Даньшина В.В., Каленчук А.А., Ставров Д.А.

ОмГТУ, Омск, Россия

kropotin@mail.ru

“DEPENDENCE OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF CARBON BLACK ON ITS STRUCTURAL PARAMETERS AND PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS”

Электропроводные полимерные композиционные материалы (ПКМ), содержащие технический углерод (ТУ), широко применяются в качестве материалов электротехнического и радиотехнического назначения [1]. Свойства таких ПКМ определяются не только свойствами полимерной матрицы, но

также свойствами и структурой наполнителя. Поэтому исследование структуры, особенностей физико-химического состояния ТУ и их влияния на электрофизические свойства технического углерода является актуальной задачей.

В работе исследовались электропроводные марки ТУ серии OMCARB производства «Омск Карбон Групп». Исследуемые марки ТУ характеризуются различными значениями удельной поверхности (табл. 1), поэтому сравнительный анализ их физико-химических и структурных параметров в комплексе с удельной электропроводностью позволит определить основные факторы, влияющие на электрофизические свойства технического углерода.

Таблица 1 – Площадь поверхности ТУ по многоточечной адсорбции азота (NSA)

ТУ	№1	№2	№3	№4
NSA, м ² /г	71	307	598	1006

Параметры кристаллической структуры ТУ определяли по результатам дифрактометрии, предварительно из дифрактограмм удаляли рефлексы оксидов ванадия [2]. В работе рассчитывали межплоскостное расстояние, средние размеры кристаллитов в направлении, перпендикулярном графеновым слоям и вдоль графеновых слоев, степень кристалличности. Степень кристалличности рассчитывали по методике, предложенной в работе [3].

В качестве физико-химических характеристик, влияющих на электрофизические свойства технического углерода [4], определяли абсорбцию масла (ДБФ), химический состав поверхности, площадь поверхности по многоточечной адсорбции азота (NSA) и внешнюю площадь поверхности по азоту (STSA).

В табл. 2 представлены значения удельной электропроводности исследованных марок ТУ.

Таблица 2 – Удельная электропроводность ТУ

ТУ	№1	№2	№3	№4
Удельная электропроводность, (Ом·м) ⁻¹	345	313	667	1250

Для количественной оценки влияния измеренных структурных параметров и физико-химических характеристик, на удельную электропроводность ТУ провели линейный регрессионный анализ. Наибольший коэффициент корреляции (R) получен для следующих независимых переменных: ДБФ (R = 0,997), STSA (R = 0,983), NSA (R = 0,954), средний размер кристаллитов вдоль графеновых слоев (R = 0,951). В качестве примера на рисунке 1 приведена зависимость удельной электропроводности от показателя STSA.

В результате проведенных исследований установлена зависимость удельной электропроводности исследованных марок электропроводного ТУ от структурных параметров и физико-химических характеристик. Показано, что зависимость удельной электропроводности исследованных марок ТУ от таких параметров, как ДБФ, STSA, NSA и средний размер кристаллитов вдоль графеновых слоев удовлетворительно описывается линейными регрессионными уравнениями.

Полученные результаты могут быть использованы при выборе марки технического углерода для разрабатываемых электропроводных полимерных композиционных материалов.

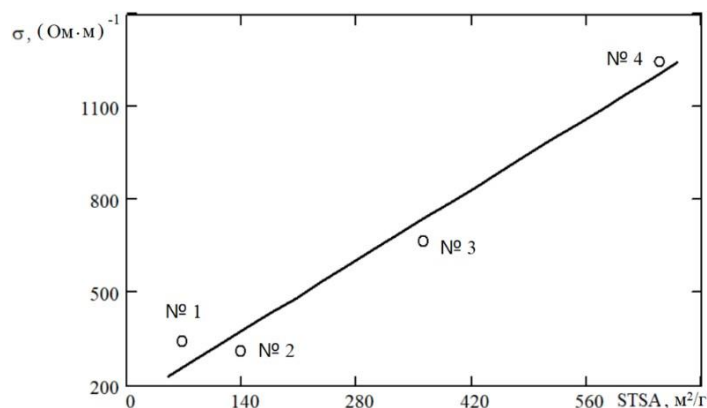


Рисунок 1 – Зависимость удельной электропроводности от показателя STSA для исследованных марок ТУ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Pang, H. Conductive polymer composites with segregated structures [Text] / H. Pang, L. Xu, D.X. Yan, Z.M. Li // Progress in Polymer Science. – 2014. – Vol. 39, No. 11. – P. 1908-1933.
2. Kropotin, O.V. Structure and phase composition of electrically conductive carbon black [Text] / O.V. Kropotin, S.N. Nesov, D.A. Polonyankin, E.A. Drozdova // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2022. – Vol. 2182, No. 1. – P. 012076.
3. Чухчин, Д.Г. Способ дифрактометрического определения степени кристалличности веществ [Текст] / Д.Г. Чухчин, А.В. Малков, И.В. Тышкунова [и др.] // Кристаллография. – 2016. – Т. 61, №. 3. – С. 375-379.
4. Раздьяконова, Г.И. Свойства и методы анализа углеродных материалов: монография [Текст] / Г.И. Раздьяконова, Л.Г. Пьянова, Ю.В. Суровикин, В.А. Лихолобов. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 176 с.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

Кудина Е.Ф.^{1,2}

¹БелГУТ, Гомель, Беларусь; ²ИММС НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

kudina_mpri@tut.by

“COMPOSITE MATERIALS BASED ON PHENYLONE”

Для практического применения пластмасс часто требуется, чтобы изделие обладало, с одной стороны, способностью значительно деформироваться и не разрушаться при больших нагрузках, а с другой – при умеренных нагрузках противодействовать внешним силам, сохранять размеры и форму. Эти требования, как правило, могут быть удовлетворены только частично. По комплексу физико-механических показателей большинство термопластов превосходит фенилон (ФС), получаемый на основе ароматических полиамидов. Преимущество фенилона заключается в том, что материалы на его основе сочетают высокую тепло- и термостойкость с морозостойкостью, жесткость и прочность с хорошими антифрикционными свойствами, пластичностью и стойкостью к ударным нагрузкам, высокую усталостную прочность со стабильными диэлектрическими характеристиками, что обеспечивает возможность их широкого применения в различных отраслях народного хозяйства. Однако высокие значения коэффициента трения в сухом режиме ограничивают его эксплуатационные возможности. Введение в состав ФС в качестве наполнителей твердых смазок приводит к улучшению антифрикционных свойств фенилона, но способствует снижению прочности материала. Существующие недостатки выдвигают задачи для разработки эффективных методов модифицирования фенилона с целью направленного регулирования его свойств.

Проведено исследование влияния на свойства фенилона терморасширенного графита (ТРГ) и синтезированного органосиликатного нанокompозита [1-3]. В качестве связующего использовали полиамид фенилон С-2 – линейный гетероциклический сополимер, содержащий в основной цепи амидную группу – HNCO , соединенную с двух сторон фенильными фрагментами. Введение ТРГ в композит на основе ФС позволит обеспечить существенное улучшение износостойкости и антифрикционных свойств. Терморасширенный графит получен из естественного графита при окислении персульфатом аммония в сернокислой среде с последующей термообработкой при температурах до 1200 К. В качестве органосиликатного наполнителя использовали высокодисперсный продукт, полученный при интеркалировании C_0 в эпоксиликатную матрицу ($\text{C}_0 \rightarrow \text{ЭС}$), которая сформирована при модифицировании щелочесиликатного раствора эпоксидиановой смолой ЭД-20. Синтезированный продукт («эпоксиликат кобальта») имеет гибридно-смешанную структуру, где в эпоксиликатных нанокластерах ($\text{ЭС-Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$, $\text{ЭС-Na}_6\text{Si}_3\text{O}_{19}$) распределены нанодисперсные аморфные и кристаллические частицы ($\beta\text{-Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$, SiO_2 размером от 5 до 50 нм и CoSiO_3 , CoSi_2O_5 размером 15-25 нм). Исследуемые наполнители вводили в термопласт в концентрации до 15 мас.% [1, 2]. Выбор высокодисперсного органосиликатного продукта обусловлен его структурными особенностями, которые обеспечивают высокую активность дисперсных частиц и улучшение адгезионного взаимодействия на границе раздела полимерное связующее – наполнитель.

Введение ТРГ обеспечивает, по сравнению с традиционными графитами, повышение теплофизических, физико-механических и триботехнических свойств композитов, полученных на основе фенилона. Анализ экспериментальных данных показывает, что при увеличении содержания наполнителя ТРГ теплофизические свойства (теплопроводность, температуропроводность и ТКЛР) композита улучшаются, а физико-механические, наоборот, как и следовало ожидать, ухудшаются.

Наименьший коэффициент трения для данных условий ($PV=3$ МПа·м/с) по результатам триботехнических характеристик наблюдается в материале при содержании наполнителя 5 мас.%, но при этом его износ в 5 раз больше, чем у графитопласта, который содержит 15 мас.% ТРГ. Следует указать, что данное значение критерия PV для графитопласта с 5 мас.% ТРГ является предельным, в то время как материалы с наполнителем в количестве 15 и 25 мас.% работают при $PV < 25$ МПа·м/с.

Проведенные исследования показали, что модифицирование фенилона исследуемыми наполнителями приводит к повышению термостойкости композиционных материалов (КМ). Термостойкость композиционных материалов на основе ФС зависит от соотношения вводимых наполнителей. Анализ полученных данных показывает, что увеличение содержания ТРГ во всех композициях приводит к возрастанию термостойкости (T_0 , T_5 , T_{10} и T_{20}), наиболее эффективное воздействие отмечается при введении наполнителя в количестве 15 мас.%. Содержание наполнителя состава $C_0 \rightarrow ЭС$ меньше влияет на изменение термостойкости материала и наиболее оптимальным содержанием наполнителя является концентрация не более 8 мас.%.
 Анализ физико-механических свойств полученных композитов показал, что увеличение концентрации ТРГ в смеси двух наполнителей приводит к уменьшению значений предела прочности и модуля упругости при сжатии, однако при увеличении концентрации «эпоксисиликата кобальта» предел прочности при сжатии уменьшается, а модуль упругости растет.

Анализ влияния режимов эксплуатации (давление и скорость скольжения) на триботехнические характеристики материала с оптимальным содержанием наполнителя (состав: ТРГ/ЭС $C_0=8/8$) по комплексу теплофизических и механических характеристик дает основание сделать следующие выводы: износ и температура в зоне контакта изменяются аналогично, а коэффициент трения антибатно росту давления и скорости скольжения; при одинаковых значениях PV температура в зоне контакта ниже при большей скорости, т.е. когда время фрикционного контакта меньше.

Триботехнические исследования композита при наиболее оптимальном соотношении наполнителей позволили установить, что при одинаковых значениях PV температура в зоне контакта ниже при более высокой скорости, т.е. когда время фрикционного контакта меньше (табл. 1). Поверхность образцов композитов в исследованном интервале нагрузок стекловидная, что характерно для усталостного механизма изнашивания.

Сравнение результатов изнашивания КМ при смазке водой и маслом (табл. 2) позволяет отдать предпочтение маслу. Картина изнашивания КМ аналогична наблюдаемой при армировании фенилона органическими волокнами: ариимид-Т, сульфон-Т и вниивлон.

Таблица 1 – Зависимость температуры в зоне контакта от режимов эксплуатации

Показатели	$PV = 1,6$ МПа·м/с	
	Скорость скольжения, V (м/с)	2
Давление, P (МПа)	0,8	10
Температура в зоне контакта, T (К)	372,5	377

Сравнение результатов изнашивания КМ при смазке водой и маслом (табл. 2) позволяет отдать предпочтение маслу. Картина изнашивания КМ аналогична наблюдаемой при армировании фенилона органическими волокнами: ариимид-Т, сульфон-Т и вниивлон.

Таблица 2 – Износ материала на основе фенилона

Материал	Износ в условиях трения при смазке, мг					
	водой			маслом		
	при нагрузке, МПа					
	2,5	5,0	$I_{5,0}/I_{2,5}$	2,5	5,0	$I_{5,0}/I_{2,5}$
Фенилон	37,5	348,75	9,3	0,35	0,77	2,2
Композит*	1,56	8,6	5,5	0,125	0,275	2,2

* – фенилон, модифицированный гибридным наполнителем (8 мас.% ТРГ и 8 мас.% состава ЭС C_0)

Таким образом, разработанный материал можно рекомендовать для эксплуатации при значениях фактора PV в режимах: сухого трения – 1,6; при смазке водой – 2,5 и маслом 5,0 МПа·м/с.

Полученные результаты показали, что совместное использование наполнителей приводит к их взаимному активированию и синергическому эффекту, позволяющему широко варьировать теплофизические, физико-механические и триботехнические свойства материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и

технологии» подпрограммы «Многофункциональные и композиционные материалы» (задание 4.1.16).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kudina, E.F. Nanostructured organosilicate composites: Production, properties and application [Text] / E.F. Kudina, G.G. Pechersky // Resin Composites: Properties, Production and Applications. – 2011. – P. 101-127.
2. Kudina, E.F. Modification of alkali silicate solutions by organic reagents and investigation of the properties of the final products [Text] / E.F. Kudina, Y.M. Pleskachevskii // Glass Physics and Chemistry. – 2009. – Vol. 35. – P. 436-442.
3. Кудина, Е.Ф. Влияние эпоксисиликата кобальта и терморасширенного графита на теплофизические свойства фенилона [Текст] / Е.Ф. Кудина, А.И. Буря, Ю.М. Плескачевский [и др.] // Вопросы химии и химической технологии. – 2008. – №. 6. – С. 66-71.

МНОГОУРОВНЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Лепов В.В., Бисонг М.С., Павлов Н.В., Дьячковский И.И., Иванов А.Н., Попов Д.Н.

ИФТПС СО РАН, г. Якутск, Россия

lepov@iptpn.ysn.ru

“MULTI-LEVEL SIMULATION OF MATERIAL FAILURE AND COMPLEX SYSTEMS OPERATING IN EXTREME CONDITIONS”

Длительный мониторинг протяжённых конструкций и фундаментов сооружений, а также натурные испытания конструкций и экспериментальные исследования элементов машин показали, что поврежденность элементов металлоконструкций, подвергающихся длительным циклическим нагрузкам, включая температурные и коррозионные воздействия в экстремальных климатических условиях практически достигает своих предельных значений, при этом ресурс технических систем вырабатывается значительно раньше, чем при эксплуатации в условиях умеренного климата. Это касается в первую очередь регионов Арктики и Субарктики, для которых требуется корректировка соответствующих норм и стандартов, на основе методов оценки и продления ресурса, повышения надёжности и безопасности сложных систем, конструкций и сооружений, эксплуатирующихся на территории криолитозоны, моделирования процессов накопления повреждений в материалах.

Химия и материаловедение, металлургия, машиностроение, транспортная и энергетическая отрасли решают, как принципиально разные, так и взаимосвязанные задачи, общими для которых являются фундаментальные физические законы и принципы, определяющие предельные свойства структур и оптимальные комплексы свойств конструкционных и функциональных материалов.

Отдельный интерес представляет физика вязко-хрупкого перехода повреждённых сталей, которая, вообще говоря, достаточно сложна даже для описания стандартных испытаний на ударный изгиб [1-3]. Тем не менее, попытки, основанные, в частности, на уравнениях дислокационной кинетики подойти к анализу параметров вязко-хрупкого перехода при ударном нагружении облученных нейтронами конструкционных сплавов мартенситного типа позволяют количественно обосновать наблюдаемые на опыте закономерности [4]. Так, работа вязкого разрушения образца с надрезом (типа Шарпи) составляет часть работы разрушения гладкого образца и соответствует объему материала в области надреза, вовлеченного в процесс пластической деформации и разрушения. Как для гладкого, так и для надрезанного образца определяющим фактором их вязкого разрушения является величина равномерной деформации [5]. Поэтому с ростом общего упрочнения, во многих случаях неравномерного из-за тепловых и динамических воздействий, она будет значительно, вплоть до нуля, уменьшаться, снижая величину ударной вязкости материала [2].

Микроструктурный анализ изломов образцов из материала локомотивного колеса показал, что сталь после эксплуатации находится в термоупрочненном состоянии, однако в исходном состоянии обладала достаточной пластичностью. Под действием циклических переменных силовых нагрузок и температурных перепадов в экстремальных климатических условиях её фазовая структура деградирует, что проявляется в виде пористых и трещиноватых форм излома. Низкая температура эксплуатации приводит к преобладанию хрупкого механизма разрушения. В теле зерна создаются внутренние напряжения, способствующие образованию субмикротрещин и хрупкому разрушению.

Таким образом, с использованием рассмотренного подхода к оценке хладостойкости можно получить необходимые сведения при выборе материала с оптимальными механическими характеристиками и микроструктурой при внедрении в эксплуатацию ответственных узлов и деталей транспортных средств, путем микроструктурного анализа характера разрушения материала при разных

температурах и оценки значений ударной вязкости, которая является важнейшим параметром оценки хладостойкости материала.

Принцип относительности Галилео Галилея положил начало многоуровневого подхода при рассмотрении явлений и объектов. Помимо оригинальных численных методов, например, многомасштабного МКЭ [6], оперирование на нескольких структурных уровнях позволяет уменьшить степени свободы на основе организации локальных автономных вычислений и позволяют получить строгие макроскопические уравнения для многомасштабных задач без разделения решения и строгих ограничений [7]. Сама концепция многомасштабного моделирования появилась в последние десятилетия для описания задач симуляции механического, физического или химического поведения в уровне сплошного тела на основе информации, получаемой из численных моделей на более тонких масштабных уровнях в системе, не прибегая к эмпирическим конститутивным моделям.

Многоуровневый подход позволяет обосновать иерархию моделей, облегчающих анализ и разработку новых технических и человеко-машинных систем, менее подверженных неблагоприятным факторам окружающей среды, а также позволяющим, насколько это возможно, обеспечить целостность и ресурс, работоспособность и безопасность сложных систем в условиях глобального изменения климата и возрастания роли человеческого фактора [8].

В рамках линейной механики разрушения выявлена зависимость локальных параметров от нелокальных характеристик напряженного состояния [9], при этом для моделирования разрушения на различных масштабах использованы закономерности образования и роста микротрещин, учитывающие условие необратимости разрушения Бейли и критерий концентрационного разрушения, основанный на теории перколяции.

Введена иерархия структурных размеров и времени разрушения, а также скорости трещин на различных масштабах. Результаты стохастического моделирования роста трещин в массивах трещин и пор на мезо- и микроуровнях, соответственно, показывают, что моделирование сравнимо с результатами КЭ макроскопического моделирования. Скорость трещины, полученная для различных концентраций органической фибры в пористом бетоне, росла при увеличении содержания волокна, что соответствует эксперименту.

Хладноломкость выявляется при испытаниях на динамический изгиб в условиях объемного напряженного состояния, когда дислокационное скольжение затруднено. Поэтому для анализа воздействия низких температур на процесс распространения трещин рассмотрены особенности динамического разрушения. В работах Иоффе, Нильсона и Броберга дана оценка предельной скорости трещины, или скорости поверхностных волн Релея в материале, не превышающей 90% от скорости волн сдвига $c = \sqrt{(\mu/\rho)}$, где μ – модуль упругости второго рода, ρ – удельная плотность. При приближении к этой скорости существенно изменяется интенсивность распределения напряжений в вершине растущей трещины, тогда как при скоростях, не превышающих 0,05 1/с (как в случае испытаний на ударный изгиб) можно считать её соответствующей условиям статического нагружения. Многоуровневое моделирование, применено для моделирования кинетики разрушения стали, модифицированного органического фиброй бетона, дерева, плотных грунтов в условиях отсутствия влаги, когда реологией и сложными процессами ползучести можно пренебречь.

Работа выполнена в ИФТПС СО РАН при поддержке Программы ФНИ Министерства науки и высшего образования РФ (проект FWRS-2021-0039) с использованием оборудования ЦКП ЯНЦ СО РАН (проект №13.ЦКП.21.0016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Давиденков, Н.Н. Динамическая прочность и хрупкость металлов: Избранные труды [Текст] / Н.Н. Давиденков. – К.: Наукова думка, 1981. – 704 с.
2. Григорьев, А.В. Оценка ресурса элементов железнодорожной техники, эксплуатирующихся в условиях низких климатических температур [Текст] / А.В. Григорьев, В.В. Лепов, В.Н. Тагров // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2014. – №. 1(73). – С. 35-39.
3. Krasovskii, A. Y. Ductile-to-brittle transition temperature as a measure of the crack resistance of steels [Text] / A. Y. Krasovskii // Strength of Materials. – 1985. – Vol. 17, No. 10. – P. 1439-1446.
4. Крайнюк, Е.А. Определение температуры вязко-хрупкого перехода (T_k) на образцах различной толщины из стали 15Х2НМФА [Текст] / Е.А. Крайнюк, В.Г. Лесная, Л.С. Ожигов, В.И. Савченко // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 2004. – №. 3. – С. 137-141.

5. Ачикасова, В.С. Низкотемпературный вязкохрупкий переход и внутреннее трение [Текст] / В.С. Ачикасова, В.В. Лепов // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2015. – №. 1(77). – С. 75-77.
6. Efendiev, Ya. Multiscale finite element methods: theory and applications [Text] / Ya. Efendiev, Th.Y. Hou. – NY: Springer Science&Business Media; 2009. – 234 p.
7. Трусов, П.В. Многоуровневые модели моно- и поликристаллических материалов: теория, алгоритмы, примеры применения [Текст] / П.В. Трусов, А. И. Швейкин. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2019. — 605 с.
8. Лепов, В.В. Многоуровневое иерархическое эволюционное моделирование процессов разрушения материалов [Текст] / В.В. Лепов, Е.А. Архангельская, А.А. Иванова, К.Я. Лепова // Вычислительные технологии. – 2008. – Т. 13, №. 3. – С. 315.
9. Лепов, В.В. Многоуровневый подход к моделированию процессов разрушения материалов с субмикроструктурой, применимых в условиях Арктики и Субарктики [Текст] / В.В. Лепов, С.М. Бисонг, Р.Н. Голых // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2023. – Т. 28, №. 1. – С. 156-171.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Лесун А.Н.¹, Антонов А.С.¹, Струк В.А.¹, Гольдаде В.А.²

¹ГрГУ им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь; ²ГГУ им. Ф.Скорины, Гомель, Беларусь

antonov.science@gmail.com

“FUNCTIONAL COMPOSITE MATERIALS BASED ON REGENERATED POLYTETRAFLUOROETHYLENE”

При разработке составов композиционных материалов на основе полимерных матриц особое внимание исследователей уделено проблемам реализации концепта экологического императива, который базируется на создании технологии замкнутого цикла, предполагается использование технологических остаточных продуктов и амортизированных изделий для осуществления процессов рециклинга и получения матриц с высокими характеристиками для разработки функциональных материалов, обеспечивающих устойчивую эксплуатацию конструкций машин, механизмов и технологического оборудования [1-3].

Особый интерес представляет технологии рециклинга остаточных продуктов, полученных при изготовлении заготовок (изделий) из ПТФЭ, вследствие наличия комплекса характерных деформационно-прочностных, триботехнических характеристик и стойкости к воздействию эксплуатационной среды. Для исследований использовали остаточные продукты, полученные в результате обработки заготовок из ПТФЭ и композитов его основе, полученные резанием, в виде длинномерной стружки.

Для диспергирования остаточных продуктов использовали метод механического активирования путем вальцевания в зазоре механических валцов и методом криогенного измельчения стружки в специальной установке с использованием жидкого азота.

Характерная морфология дисперсных частиц регенерированной стружки представлена на рис. 1.

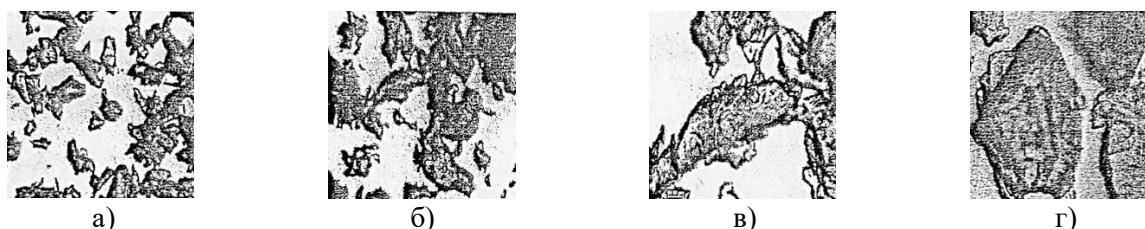


Рисунок 1 – Морфология частиц регенерированного ПТФЭ: а) фракция до 80 мкм; б) фракция 80-180 мкм; в) фракция 180-280 мкм; г) фракция более 280 мкм. ×125

Подобная морфология регенерированных частиц приводит с существенным изменениям физико-химических процессов, определяющих технологию переработки. Поэтому дисперсные частицы регенерированного ПТФЭ не образуют монолитной структуры в процессе формирования изделия (заготовки) по традиционной технологии холодного прессования и горячего спекания. Такие частицы регенерированного ПТФЭ могут быть использованы как функциональный модификатор первичной матрицы, триботехнического компонента пластичных смазок.

Для обеспечения необходимых реологических характеристик поверхностного слоя частиц ПТФЭ, определяющих процесс монолитизации изделия (заготовки), целесообразно использовать модификаторы, имеющие близкое химическое строение и молекулярную массу. В качестве подобного модификатора использованы продукты термогазодинамического синтеза политетрафторэтилена, выпускаемые под названием ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ) с торговой маркой «Форум». Нашими исследованиями установлено, что частицы УПТФЭ образованы продуктами конденсации газообразных компонентов в процессе термической деградации частиц матричного политетрафторэтилена (остаточных продуктов) и представляют собой смесь олигомерной и полимерной фракций с близким молекулярным строением. Механическая обработка дисперсных частиц ПТФЭ (первичного и регенерированного) продуктами УПТФЭ приводит к формированию на поверхности активного слоя, способного к процессам монолитизации. В процессе прессования с последующей термообработкой формируется структура с высокими показателями деформационно-прочностных характеристик вследствие влияния олигомерных фракций частиц УПТФЭ на реологические характеристики поверхностных слоев регенерированных частиц ПТФЭ. Кроме того, наноразмерные фракции, входящие в состав единичной частицы УПТФЭ обладают активным состоянием и способствуют протеканию процессов структурообразования материала. Поэтому для переработки дисперсных частиц регенерированного политетрафторэтилена в изделия с достаточными параметрами характеристик целесообразно использовать в качестве многофункционального модификатора полимер-олигомерные частицы УПТФЭ, обладающие возможностью регулирования параметров реологических характеристик в приповерхностных слоях частиц регенерата вследствие идентичного химического строения и термодинамической совместимости с матричным полимером, и оказывающих структурирующее действие вследствие наличия в составе наноразмерных частиц ПТФЭ, играющих роль активного надмолекулярного компонента.

Проведены исследования модельных композитов на основе регенерированных полиолефинов (ПП), модифицированных компонентами различного состава, строения и технологии получения. Для модифицирования были использованы частицы УПТФЭ, регенерированного термоэластопласта (ТЭП), технологических отходов производства фосфорных минеральных удобрений – фосфогипса (ФГ). Для совмещения использовали технологию механохимического активирования и термомеханического воздействия на расплавы шнеками литьевых машин или двухшнековых смесителей. Установлено, что одновременное модифицирование регенерированного полипропилена термоэластопластом (5-10 мас.%), УПТФЭ (0,5-3 мас.%), фосфогипсом (ФГ) (5-10 мас.%) обеспечивает синергический эффект достижения необходимых параметров деформационно-прочностных характеристик в сочетании со стойкостью к горючести и параметрами реологических характеристик, обеспечивающих переработку композита в изделие методом литья под давлением.

Для повышения ресурса запорной арматуры трубопроводов типа задвижек, запорных клапанов (вентилей), использующих в конструкции уплотнительные элементы из композиционных материалов, разработаны составы герметизирующих материалов на основе совмещенных композиций первичного и регенерированного политетрафторэтилена, модифицированного термообработанными глинистыми минералами. Введение в матричный ПТФЭ регенерированных продуктов (УПТФЭ) в сочетании с термоактивированными частицами глинистых минералов обеспечивает синергический эффект повышения параметров деформационно-прочностных характеристик композитов и износостойкости.

Разработан композиционный материал на основе политетрафторэтилена, содержащий в качестве модификаторов полиамидную смолу на основе талловой канифоли и диспергированных частиц целлюлозосодержащих продуктов. Использование в композите полиамидной смолы, с одной стороны, обеспечивает более равномерное распределение наночастиц в объеме материала, а с другой, вследствие термодеструкционных и окислительных процессов при формировании изделий (заготовок) способствует образованию углеродосодержащих продуктов под действием технологических факторов. Дисперсные частицы целлюлозосодержащих продуктов в результате воздействия технологического фактора превращаются в углеродсодержащие модификаторы, способствующие увеличению параметров деформационно-прочностных и триботехнических характеристик материала.

Разработана технология рециклинга технологических остаточных продуктов, образующихся в процессе изготовления изделий из фторкомпозитов, обеспечивающая формирование частиц с развитой морфологией, вследствие сочетания механохимических процессов при вальцевании с последующим диспергированием с использованием криогенного измельчителя. Технология позволяет получать изделия из фторкомпонентов и пластичные смазки с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик

Исследования проводились в рамках выполнения комплексного задания 8.4.1.4 «Механизмы направленного структурообразования функциональных термопластичных композитов при энергетических и механических воздействиях» НИР «Исследование механизмов многоуровневого структурирования функциональных нанокompозитов на основе термопластов в условиях реализации синергических эффектов физико-химической природы» и НИР «Исследовать механизмы структурообразования регенерированных термопластов и разработать методы повышения параметров деформационно-прочностных и реологических характеристик функциональных композитов на их основе» подпрограммы «Многофункциональные и композиционные материалы» ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Охлопкова, А.А. Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями [Текст] / А.А. Охлопкова, О.А. Андриянова, С.Н. Попов. – Якутск: Изд-во СО РАН, 2003. – 224 с.
2. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация [Текст] / Ю.К. Машков [и др.]. – М.: Машиностроение, 2005. – 240 с.
3. Машиностроительные фторкомпозиты: структура, технология, применение [Текст] / С.В. Авдейчик [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2012. – 319 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКРИЛОНИТРИЛ-БУТАДИЕН-СТИРОЛА ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА, АРМИРОВАННОГО КОРОТКИМ ВОЛОКНОМ

Лобов Е.С., Добрыднева А.Д., Ташкинов М.А.

ПНИПУ, Пермь, Россия

ESLobov@pstu.ru

“EXPERIMENTAL STUDY OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ACRYLONITRILE-BUTADIENE-STYRENE FOR ADDITIVE MANUFACTURING REINFORCED WITH SHORT FIBERS”

Аддитивное производство (3D-печать), основанное на послойном нанесении материала, в настоящее время широко используется для изготовления деталей со сложной геометрией. Одним из наиболее доступных методов 3D-печати является методика наплавления нити (FFF), которая работает с полимерными материалами в виде нити. Среди многообразия термопластичных полимеров, которые были адаптированы для этого метода, одним из наиболее широко используемых является акрилонитрил-бутадиен-стирол (АБС). Для повышения жесткости, модуля упругости и прочности 3D-печатных конструкций были разработаны композиты с матрицей ABS и природными или синтетическими микродобавками.

Несмотря на то, что аддитивные композиты с короткими волокнами уже успешно изготовлены и коммерчески доступны, понимание механизмов их деформации и разрушения представляет собой сложную проблему из-за сложности микроструктурной морфологии. В частности, наличие микромасштабных дефектов в виде пустот в матрице, повреждений волокон и неправильной ориентации волокон может изменить конечные свойства этих материалов после изготовления. Выбор конкретных коротких волокон, их доли и методов их интеграции требует комплексного подхода и тщательного изучения. Различные типы волокон (стекловолокно, углеволокно, базальтовое волокно и др.) обладают разными характеристиками и взаимодействуют с матрицей по-разному.

Целью данной работы является исследование влияния параметров изготовления и возникающих микроструктурных характеристик на упругие и прочностные свойства 3D-печатных образцов АБС, армированных короткими волокнами, путем сопоставления результатов экспериментальных и численных исследований. Механические свойства образцов оценивались в серии испытаний на растяжение и изгиб. Образцы печатались с различным углом заполнения и с использованием сопел различного диаметра. Внутренняя микроструктура образцов исследовалась с помощью микрокомпьютерной томографии и сканирующей электронной микроскопии.

Для определения упругих свойств были изготовлены стандартные образцы для испытаний на растяжение и трехточечный изгиб [1]. Образцы на растяжение (рис. 1а и 1б) изготовлены в соответствии со стандартом ISO 527-2:2012. Для исследования межслойной адгезии использовался метод трехточечного изгиба. В качестве образцов выступали стержни (длина 100 мм, ширина 20 мм, высота 10 мм) с внутренним отверстием (длина 100 мм, ширина 15,2 мм, высота 5,2 мм). Размеры

отверстия подбирались такими чтобы толщина стенки делилась на целые части от ширины линии при печати разными соплами (рис. 1в).

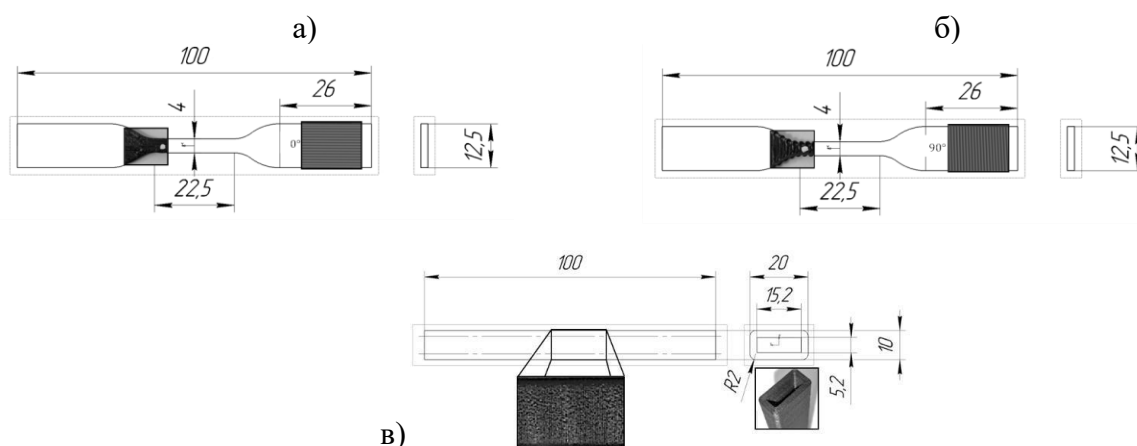


Рисунок 1 – Геометрия образцов для испытаний а) на растяжение 0°, б) на растяжение 90°, в) на изгиб

Образцы были напечатаны с углом заполнения 0° и 90°, как показано на рис. 1а и 1б. Для образцов, армированных волокном, были приняты следующие параметры печати: толщина слоя 0.2 мм, температура стола 110°C, температура сопла 290°C, угол заполнения/рисунка 100% прямой, скорость печати 30 мм/с. В случае чистого ABS отличались только температура стола (100°C) и температура сопла (255°C). Все образцы печатались в закрытой камере и охлаждались до комнатной температуры естественным образом.

На рис. 2а представлены результаты испытаний на растяжение образцов с различной ориентацией угла укладки. На рис. 2б приведены результаты испытаний на 3-точечный изгиб. Значения сгруппированы по типу материала и используемого сопла, и нормированы относительно значений для чистой матрицы ABS, напечатанной 0.4 мм соплом с углом укладки 0°.

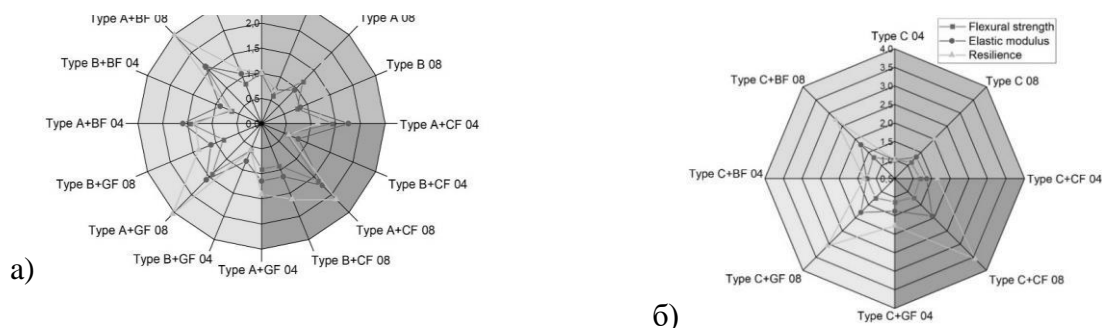


Рисунок 2 – Результаты определения прочности и модулей упругости при использовании различных диаметров сопел: а) при растяжении, б) при изгибе

Для оценки эффективного отклика материалов было проведено конечно-элементное моделирование. Представительные объемы, используемые в этих численных моделях, были созданы на основе микроструктуры реальных образцов. Кроме того, была проведена аналитическая оценка эффективных упругих свойств с использованием схемы гомогенизации Мори-Танака. Получены новые результаты по жесткости и прочности образцов 3D-печати, армированных короткими волокнами, которые сравнивались с образцами, изготовленными из стандартного материала ABS. Различия аналитического и численного значения с экспериментальными данными не превышают 15%.

Исследование выполнено в Пермском национальном исследовательском политехническом университете при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-79-10350).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Lobov, E. Effect of Short Carbon Fiber Reinforcement on Mechanical Properties of 3D-Printed Acrylonitrile Butadiene Styrene [Text] / E. Lobov, A. Dobrydneva, I. Vindokurov, M. Tashkinov // Polymers. – 2023. – Vol. 15, No. 9. – P. 2011.

ВЛИЯНИЕ АЦЕТОНИЛА И НЕОЗОНА-Д НА СВОЙСТВА БУТАДИЕНОвого ЭЛАСТОМЕРА

Макаров И.С.¹, Дьяконов А.А.^{1,2}

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИФТПС СО РАН, Якутск, Россия

misergeevich@mail.ru

“THE INFLUENCE OF ACETONANYL AND NEOZONE-D ON THE PROPERTIES OF BUTADIENE ELASTOMER”

Применение противостарителей в составе резиновых смесей оказывает влияние на свойства эластомеров, включая физико-механические характеристики и устойчивость к воздействию окружающей среды. Противостарители используются с целью уменьшения преждевременного разрушения молекулярной структуры резины, повышая устойчивость к ультрафиолетовому излучению и термической стойкости [1-3]. В настоящее время проводятся активные поиски новых, высокоэффективных соединений, которые могли бы улучшить устойчивость эластомерных материалов к воздействию внешних факторов и расширить область их применения при производстве резиновых изделий. В ходе прошлого исследования было установлено, что оптимальным является использование комбинации противостарителей ацетонанила и неозона-Д [4].

В работе представлены результаты исследования влияния ацетонанила и неозона-Д на свойства эластомеров на основе бутадиенового каучука марки СКД-В с содержанием цис-1,4-звеньев не менее 95% (Сибур, Россия). В табл. 1 приведены рецептуры исследуемых резиновых смесей.

Таблица 1 – Рецептуры резиновых смесей на основе каучука СКД-В с ацетонанилом и неозон-Д

№	Ингредиенты	Масс.ч.			
		1	2	3	4
1	СКД-В	100,0	100,0	100,0	100,0
2	Стеариновая кислота	2,0	2,0	2,0	2,0
3	Сульфенамид Ц	0,9	0,9	0,9	0,9
4	Оксид цинка	3,0	3,0	3,0	3,0
5	Сера	1,5	1,5	1,5	1,5
6	Технический углерод П803	120,0	120,0	120,0	120,0
7	Ацетонанил	-	0,5	1,0	2,0
8	Неозон-Д	-	0,5	1,0	2,0

Упруго-прочностные свойств эластомеров определяли в соответствии со стандартом ISO 37-2020, твердость определяли методом Шор А в соответствии с ISO 7619-1-2009. Для изучения стойкости к термическому старению образцы выдерживались в термошкафу при 100°C в течение 72 ч в соответствии с ISO 1817-2016. Микроструктуру низкотемпературных сколов исследовали на растровом электронном микроскопе JSM- 7800F (JEOL, Япония). Результаты исследования свойств эластомеров в зависимости от видимых противостарителей приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Свойства бутадиеновых эластомеров в зависимости от противостарителей

Свойства	Рецептуры			
	1	2	3	4
	Свойства вулканизатов			
Er, %	167	180	235	207
fr, МПа	11,4	11,3	11,6	11,2
H, Шор А, усл. ед.	82	82	80	81
	100°Cx72 ч			
Er, %	89	99	135	123
fr, МПа	9,7	10,9	10,9	10,9
H, Шор А, усл. ед.	86	87	85	86

Примечание: ϵ_r , % - относительное удлинение при разрыве; f_r , МПа - условная прочность при разрыве; Н, Шор А - твердость по Шору А.

По результатам исследования видно, что с введением противостарителей происходит увеличение относительного удлинения, твердость остается приблизительно на одинаковом уровне. Предположительно повышение показателей происходит за счет того, что противостарители улучшают распределение ингредиентов в резиновой смеси во время смешения. После испытания на термическое старение происходит существенное снижение относительного удлинения и повышение твердости вследствие довулканизации эластомеров. Прочность образцов, содержащих в своём составе противостарители, претерпевают меньшее изменение по сравнению с исходным.

На рис. 1 представлены микроснимки эластомеров на основе СКД-В с разным содержанием ацетонанила и неозона-Д.

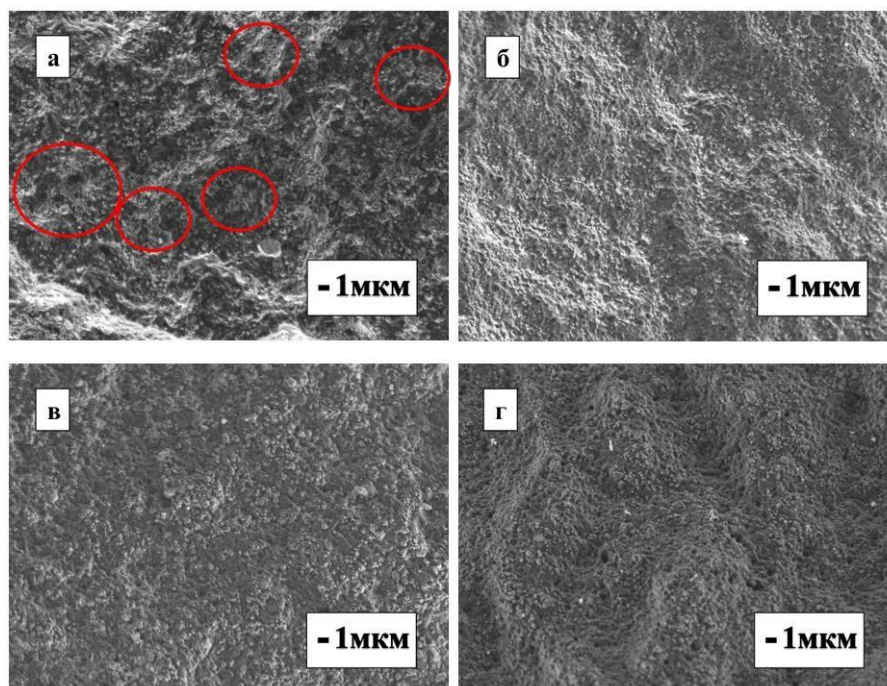


Рисунок 1 – Микрофотографии структуры эластомеров: а) исходный; б) СКД-В 0,5 ацетонанил + 0,5 неозон-Д; в) СКД-В 1,0 ацетонанил + 1,0 неозон-Д; г) СКД-В 2,0 ацетонанил + 2,0 неозон-Д

На поверхности исходного эластомера видны образования агломератов технического углерода (рис. 1, а), у образцов с противостарителями наблюдается более равномерное распределение без образования агломератов. Благодаря более равномерному распределению наполнителей повышается относительное удлинение.

С введением ацетонанила и неозона-Д в резиновые смеси наблюдается повышение эластических свойств, так как происходит равномерно диспергирование ингредиентов. На микроснимках наблюдается, что при добавлении противостарителей происходит равномерное распределение технического углерода. Также введение противостарителей снижает изменение прочностных свойств эластомеров после термического воздействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № FSRG-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Корнев, А.Е. Технология эластомерных материалов [Текст] / А.Е. Корнев, А.М. Буканов, О.Н. Шевердяев. – М.: НППА «Истек», 2009. – 504 с.
2. Усс, Е.П. Влияние стабилизирующих добавок на эксплуатационные свойства эластомерных композиций [Текст] / Е.П. Усс, Ж.С. Шашок, Н.Р. Прокопчук [и др.] // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2021. – №. 1(241). – С. 101-107.

3. Ушмарин, Н.Ф. Новые антиозонанты резин на основе оксиалкилированных производных 4-аминодифениламина [Текст] / Н.Ф. Ушмарин, С.М. Кавун, Ю.В. Винокуров // Каучук и резина. – 2017. – №. 1. – С. 36-41.
4. Макаров, И.С. Исследование влияния противостарителей на свойства бутадиенового эластомера [Текст] / И.С. Макаров // Аммосов-2023: Сборник материалов общеуниверситетской научной конференции студентов и магистрантов, Якутск, 27 апреля 2023 г. – Якутск: СВФУ, 2023. – С. 719-722.

РЕОЛОГИЯ ЭКСТРУДИРУЕМЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ

Кондаков М.Н.¹, Максимова Д.В.², Гоголева О.В.¹

¹ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия; ²СВФУ, Якутск, Россия

kondakovmix@mail.ru

“RHEOLOGY OF EXTRUDABLE COMPOSITES BASED ON UHMWPE”

Первостепенной задачей для получения экструдруемых полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе СВМПЭ является поиск методов снижения вязкости СВМПЭ [1, 2]. В качестве пластификатора для СВМПЭ обычно используются полиэтиленгликоль, полипропилен, привитый полиэтилен, альфа-токоферола (витамин Е) и др. Однако, использование данных добавок приводит к ухудшению физико-механических характеристик, износостойкости, стойкости к УФ-излучению и окислению и т.д. Таким образом, для решения данной проблемы необходимо дополнительно использовать стабилизаторы, при этом нужно учитывать совместимость компонентов [3]. Добавление стабилизатора может значительно ухудшить пластифицирующую способность технологической добавки. В связи с этим, в данной работе представлены результаты исследования реологии ПКМ на основе СВМПЭ в зависимости от добавления пластификатора и стабилизатора.

Для получения экструдруемого композита были использованы:

- СВМПЭ марки GUR-4113 производства Ticona (Германия) с молекулярной массой $3,9 \cdot 10^6$ г/моль;
- полиэтилен низкого давления (ПЭНД) марки 273-83 производства ОАО «Казаньоргсинтез» (Россия);
- стеариновая кислота (СК) производства «Компонент-реактив» (Россия);
- стабилизатор марки СО-4 производства НИОХ СО РАН (Россия).

В ходе работы было изготовлено четыре вида ПКМ:

- ПКМ 1: СВМПЭ + 5 мас.% ПЭНД + 5 мас.% СК;
- ПКМ 2: СВМПЭ + 10 мас.% ПЭНД + 5 мас.% СК;
- ПКМ 3: СВМПЭ + 5 мас.% ПЭНД + 5 мас.% СК + 0,5 мас.% СО-4;
- ПКМ 4: СВМПЭ + 10 мас.% ПЭНД + 5 мас.% СК + 0,5 мас.% СО-4.

Компоненты смешивали в роторном смесителе пластикордера PL 2200-3 фирмы Brabender (Германия) при температуре 180 °С и скорости вращения валков 10 об/мин в течение 10 мин.

Далее проводилось исследование реологических характеристик ПКМ на безроторном анализаторе перерабатываемости резин марки RPA-2000 фирмы Alpha Technologies (США). Сначала для определения линейной области вязкоупругости проводили развертку деформации в диапазоне от 0,1 до 30% при температуре 180°С и частоте 1 рад/с. Исходя из полученных результатов в качестве оптимальной было выбрано значение деформации 1%. Затем при этой деформации исследовали частотные зависимости реологических параметров в диапазоне от 0,1 до 100 рад/с при температуре 180 °С.

Показатель текучести расплава (ПТР) был исследован при температуре 190°С и при нагрузке 5 кг на экструзионном пластомере XNB-400В по ГОСТ 11645.

На рис. 1 представлены графики частотной зависимости модуля накопления G' , модуля потерь G'' , комплексной вязкости η^* и тангенса угла потерь $\tan(\delta)$ для исследуемых ПКМ. Видно, что для образцов с добавлением 0,5 мас.% СО-4 во всем диапазоне частот значение G' больше, следовательно, происходит изменение конформации макромолекулярных цепей в ПКМ. Модуль потерь G'' этих же образцов показывает слабую зависимость в исследуемом диапазоне частот, т.е. отсутствует зависимости вязкой составляющей от процесса релаксации дисперсной системы.

Образцы после добавления СО-4 демонстрируют большие значения комплексной вязкости η^* во всем диапазоне частот, что свидетельствует об ухудшении его технологичности с точки зрения экструзии. При этом для всех исследованных образцов значение тангенса угла потерь $\tan(\delta)$ меньше единицы, т.е. в материалах преобладают упругие свойства.

Результаты исследования ПТР показали, что после добавления стабилизатора СО-4 существенно ухудшается текучесть образцов и хорошо согласуется с результатами реологических исследований, полученных с помощью RPA 2000.

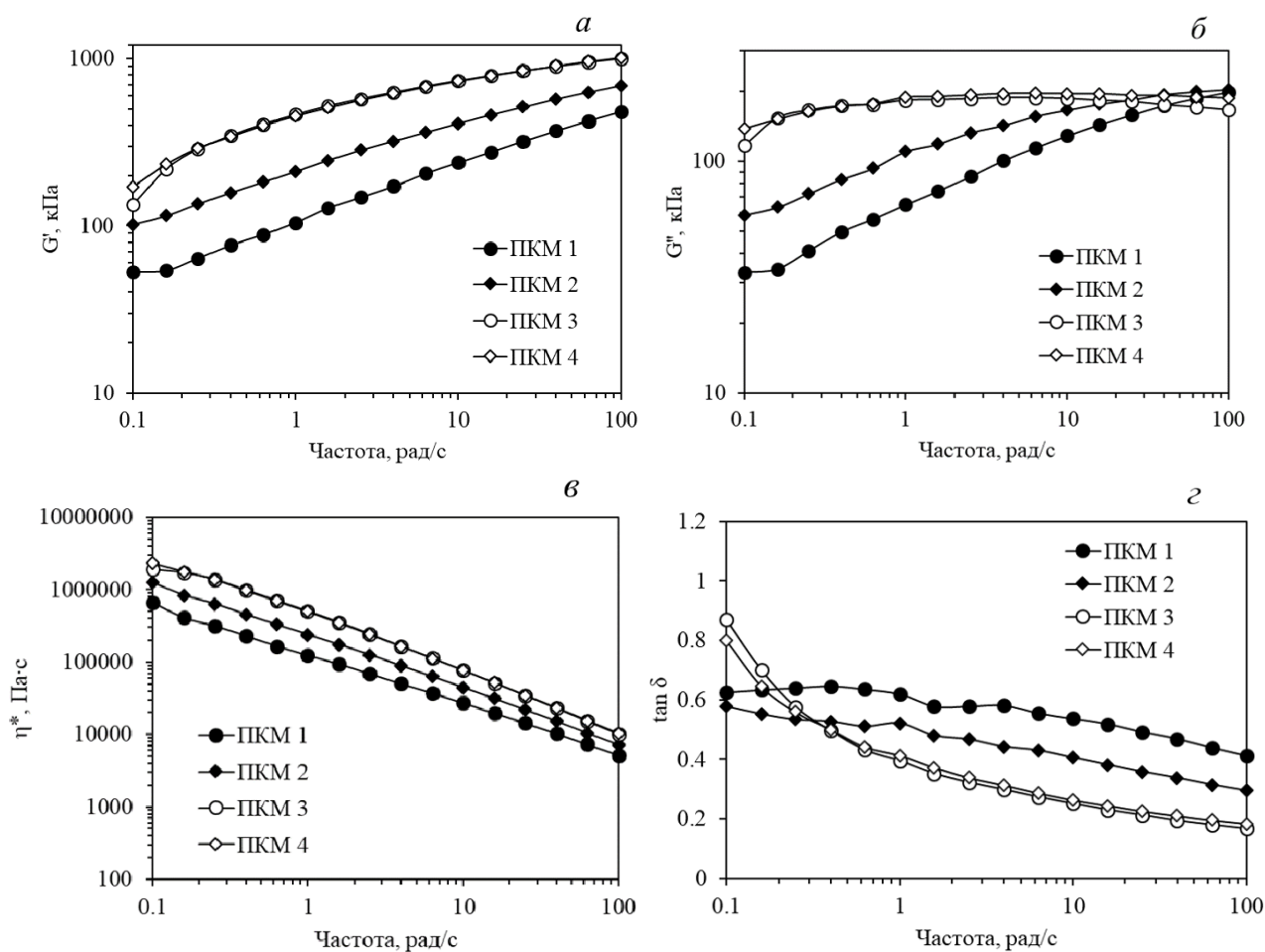


Рисунок 1 – Частотные зависимости модуля накопления G' (а), модуля потерь G'' (б), комплексной вязкости η^* (в) и тангенса угла потерь $\tan(\delta)$ (г) при 180°C.

Таким образом установлено, что стабилизатор СО-4 не подходит для рассмотренной полимерной композиции на основе СВМПЭ, содержащей полиэтилен низкого давления и стеариновую кислоту. Необходимо дальнейшее продолжение исследований по поиску термодинамически совместимых компонентов с целью разработки климатически стойких экструзируемых композиционных материалов на основе СВМПЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Панин, С.В. Разработка составов экструзируемых полимер-полимерных СВМПЭ-композиатов для технологий аддитивного производства [Текст] / С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Д.Г. Буслович [и др.] // Современные наноматериалы. – 2020. – С. 82-106.
2. Chen, X. Elongational Flow Field Processed Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene/Polypropylene Blends with Distinct Interlayer Phase for Enhanced Tribological Properties [Text] / X. Chen, X. Wang, C. Cao [et al.] // Polymers. – 2021. – Vol. 13, No. 12. –P. 1933.
3. Колесова, Е.С. Разработка ПКМ на основе СВМПЭ с высокой стабильностью свойств в условиях резко-континентального климата [Текст] / Е.С. Колесова, О.В. Гоголева, П.Н. Петрова // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2021. – Т. 26, №. 4. – С. 122-131.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АРМИРОВАНИЮ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

Марков А.Е.^{1,2}, Кычкин А.К.²

¹ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия; ²ИФТПС СО РАН, Якутск, Россия

aital.markov@gmail.com

“REVIEW OF RESEARCH ON POLYMER REINFORCEMENT MATRIX”

Композит – это многокомпонентный материал, сочетающий в себе свойства всех составляющих для получения характеристик с заданными свойствами. Он состоит из армированного материала и полимерной матрицы. Полимерная матрица выступает в роли связующего компонента. Наиболее распространенными армирующими материалами являются стекло-, угле- и базальтовые волокна [1]. Волокнистые наполнители существуют в виде нитей или пучков (ровинг). В настоящее время реализованы технологии для получения изделий и конструкций различного назначения. Армирующий материал в зависимости от размера и количества может улучшить или ухудшить физико-механические свойства полимера. Также важны и химические свойства волокон, которые влияют на адгезию на границе раздела фаз. Так длина волокна играет большую роль в изготовлении композита. Дисперсные волокна обычно используют для получения конструкционных литевых и экструзионных термопластичных полимерных композитных материалов ПКМ [2]. Исследования в разработке композитных материалов армирующими дисперсными волокнами являются актуальной задачей.

В работе [3], было установлено, что увеличение прочности образцов зависит от увеличения длины пучка и толщины композитов, но значительно ниже по сравнению с квазиизотропными композитами с углеродным волокном. Механические свойства измерялись для образцов со случайно ориентированными нитями толщиной 2,5 и 6 мм со следующими размерами пучков (длина-ширина):

Таблица 1 – Размеры пучков волокон на испытанных образцах

Длина	6	12	12	25	50	25	50
Ширина	3	3	6	6	6	12	12

Для каждого нагружения было испытано по восемь образцов с каждым размером волокон. Для проведения сравнительного анализа были также испытаны композиты толщиной 2,5 мм с однонаправленными волокнами ([0]18 и QI CF со слоем [0/60]3S). Композиты разрезались таким образом, чтобы образцы имели ориентацию волокон [0/60]3S или [90/30]3S. Однонаправленная лента толщиной 0,14 мм из углерода/полиэфир-эфиркетон (ПЭЭК) с объемной долей волокна 60% была разрезана на пряди желаемой длины с помощью автоматического отрезного станка. Авторы провели испытания на растяжение, сжатие и сдвиг. Пределы прочности при растяжении, сжатии и сдвиге были одинаковы по величине. Это можно объяснить тем, что механизмы нагружения и механика разрушения одинаковы для каждого из условий нагружения. Был сделан вывод, что размеры пучков волокон зависят от применения конечного изделия.

Также была рассмотрена статья [4], где были изготовлены образцы на основе винилово-эфирной смолы, армированной рублеными нитями углеродного волокна TR50S-15L с массовой долей 53%. В этой работе волокна распределяли под углами 0°, 45° и 90°. Длина нитей составляло 25,4 мм. Средние значения ширины и толщины составляют 8 мм и 0,115 мм соответственно. Количество нитей составляло 15 тыс. на жгут. Результаты испытания на растяжение представлены на табл. 2.

Таблица 2 – Результаты испытания на растяжение под разными углами армирования

Угол волокон	Модуль упругости при растяжении (ГПа)	Прочность на растяжение (МПа)
0°	42.3 ± 1.8	255 ± 38
45°	22.7 ± 1.0	103 ± 13
90°	17.1 ± 1.1	71 ± 7
Случайное	33	150

Автор в работе [5], в качестве матрицы использовались четыре типа эпоксидных смол. В качестве армирующих материалов применялись кевла-целлюлоза и стекловолокно. Результаты испытания на разрыв у образцов наполненные кевла-целлюлозой от 17 до 32 МПа, а модуль упругости от 1,5 до 2 ГПа у образцов с кевла-целлюлозой и от 60 до 78 МПа предела прочности на разрыв, а модуль упругости 2 до 2,5 ГПа у образцов со стекловолокном в зависимости от типа смолы.

Также было исследовано наполнение использованных и измельченных углеродных волокон [6]. В данном исследовании перед изготовлением опытных образцов авторы выровняли волокна и укоротили их длину до 3 при объемной доле в 46% и 12 мм при объемной доле в 43%. Результаты испытания на растяжение представлены на табл. 3.

Таблица 3 – Результаты испытания на растяжение с разной длиной волокон

Длина волокон, мм	Модуль упругости при растяжении (ГПа)	Прочность на растяжение (МПа)
3	84 ± 10	620 ± 60
12	68 ± 8	430 ± 50

Видно, что при объемной доле волокон 46% слоистый композит с волокнами 3 мм имеет модуль упругости при растяжении выше, чем композит с длиной волокон 12 мм, хотя длина волокон значительно меньше. Это свидетельствует о том, что достигнуто хорошее выравнивание волокон, и выровненная волокнистая структура может значительно улучшить механические свойства.

Использование произвольно ориентированных коротких армирующих наполнителей, обладающих отличными характеристиками формовости и жесткости, сравнимыми с квазиизотропными ламинатами, дает возможность для изготовления деталей сложной геометрической формы в автомобильной и аэрокосмической промышленности [7]. Также на прочностные характеристики влияет объемная доля наполнителя в полимерной матрице.

Заключение. Введение дисперсных армирующих волокон в полимерную матрицу придает полученному композиту улучшение прочностных свойств в зависимости от назначения ПКМ.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№FWRS-2022-0001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ибатуллина, А.Р. Обзор производителей и сравнение свойств сверхпрочных высокомодульных волокон [Текст] / А.Р. Ибатуллина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, №. 19. – С. 136–139.
2. Колосова, А.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов [Текст] / А.С. Колосова, М.К. Сокольская, И.А. Виткалова [и др.] // Технические науки. – 2017. – № 10. – С. 459-465.
3. Selezneva, M. Characterization of mechanical properties of randomly oriented strand thermoplastic composites [Text] / M. Selezneva, L. Lessard // Journal of composite materials. – 2016. – Vol. 50, No. 20. – P. 2833-2851.
4. Martulli, L.M. Carbon fibre sheet moulding compounds with high in-mould flow: Linking morphology to tensile and compressive properties [Text] / L.M. Martulli, L. Muyschondt, M. Kerschbaum [et al.] // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2019. – Vol. 126. – P. 105600.
5. Matei, S. Composites with short fibers reinforced epoxy resin matrix [Text] / S. Matei, M. Stoicanescu, A. Crisan // Procedia Technology. – 2016. – Vol. 22. – P. 174-181.
6. Pickering, S.J. Applications for carbon fibre recovered from composites [Text] / S.J. Pickering, Z. Liu, T.A. Turner, K.H. Wong // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Vol. 139, No. 1. – P. 012005.
7. Visweswaraiah, S.B. Mechanical characterisation and modelling of randomly oriented strand architecture and their hybrids—A general review [Text] / S.B. Visweswaraiah, M. Selezneva, L. Lessard, P. Hubert // Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2018. – Vol. 37, No. 8. – P. 548-580.

ВЛИЯНИЕ ВОЛЛАСТОНИТА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА

Гермогенова Н.В.¹, Ярусова С.Б.², Данилова С.Н.¹, Гордиенко П.С.²

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИХ ДВО РАН, Владивосток, Россия

dsn.sakhayana@mail.ru

“STUDY OF WOLLASTONITE FROM TECHNOGENIC RAW MATERIALS ON THE INFLUENCE OF PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITE”

Развитие современной техники требует новых конструкционных материалов, превосходящих по своим прочностным, упругим и другим свойствам традиционные. К числу наиболее интересных и перспективных относятся полимерные композиционные материалы (ПКМ), и, в первую очередь, армированные волокнами, которые все чаще применяют в современном машиностроении, причем их используют в тех случаях, когда ни один другой материал не отвечает все более возрастающим требованиям новой техники. Ранее авторами была показана эффективность применения волластонита из борогипса (техногенное сырье) в качестве модификатора сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Было установлено, что введение волластонита в СВМПЭ приводит к уменьшению значений массовой скорости массового изнашивания в 4 раза, увеличению относительного удлинения при разрыве на 18 % и прочности при растяжении на 27 % относительно исходного полимера [1]. При этом волластонит был синтезирован из борогипса в щелочной среде (гидроксид калия) при температуре 220 °С в течение 3 ч гидротермальным методом, путем последующего обжига полученного осадка в муфельной печи SNOL 6,7/1300 при температуре 900 °С в течение 3 ч.

В данной работе синтез осуществляли низкотемпературным методом в водной среде (20 °С) из борогипса в щелочной среде в течении 3 ч, с последующим обжигом в интервале температур 900-1000 °С. Полученный в таких условиях волластонит характеризуется формированием агломерированных частиц, состоящих из губчатых частиц и частиц со сложной геометрией (рис. 1). Размеры частиц варьируют от 0,5 до 15 мкм. Результаты рентгенофазового анализа свидетельствуют о формировании волластонита триклинной модификации. Помимо фазы волластонита, в составе осадка присутствуют фазы непрореагировавших компонентов отходов – сульфата кальция CaSO_4 и диоксида кремния SiO_2 . Плотность порошка, определенная пикнометрическим методом, составила 2,9 г/см³.

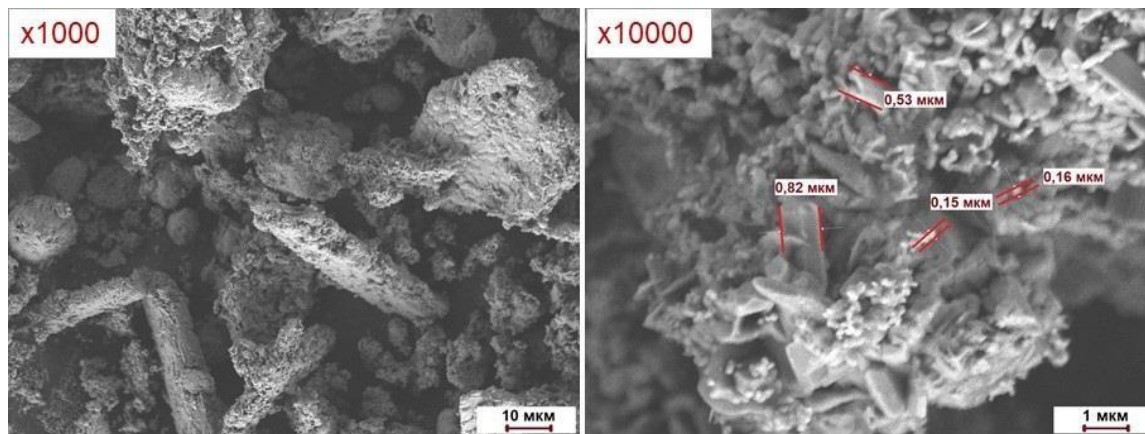


Рисунок 1 – СЭМ-изображение частиц волластонита

Исходной полимерной матрицей для исследований выбрали СВМПЭ марки GUR 4022 (Celanese, Китай) с молекулярной массой 5 млн. г/моль. Композиты получали методом горячего прессования при температуре 175 °С и давлении 10 МПа, при выдержке 20 мин. Для исследований использовали разрывную машину Autograph AGS-J (Shimadzu, Япония) и трибометр UMT-3 (CETR, США), а для исследования структуры – сканирующий электронный микроскоп JSM-6490 (JEOL, Япония) и дифрактометр D8 ADVANCE (Германия).

Известно [2, 3], что при введении неорганических наполнителей можно повысить ряд важных эксплуатационных характеристик ПКМ, таких как износостойкость, жесткость и термостойкость, а также снизить газопроницаемость и горючесть при сохранении на высоком уровне остальных уникальных свойств. Поэтому введение волластонита в СВМПЭ предполагает армирование матрицы, за счет чего будут улучшены механические свойства композита.

Результаты исследований физико-механических и трибологических свойств СВМПЭ и ПКМ в зависимости от концентрации волластонита приведены на рис. 2.

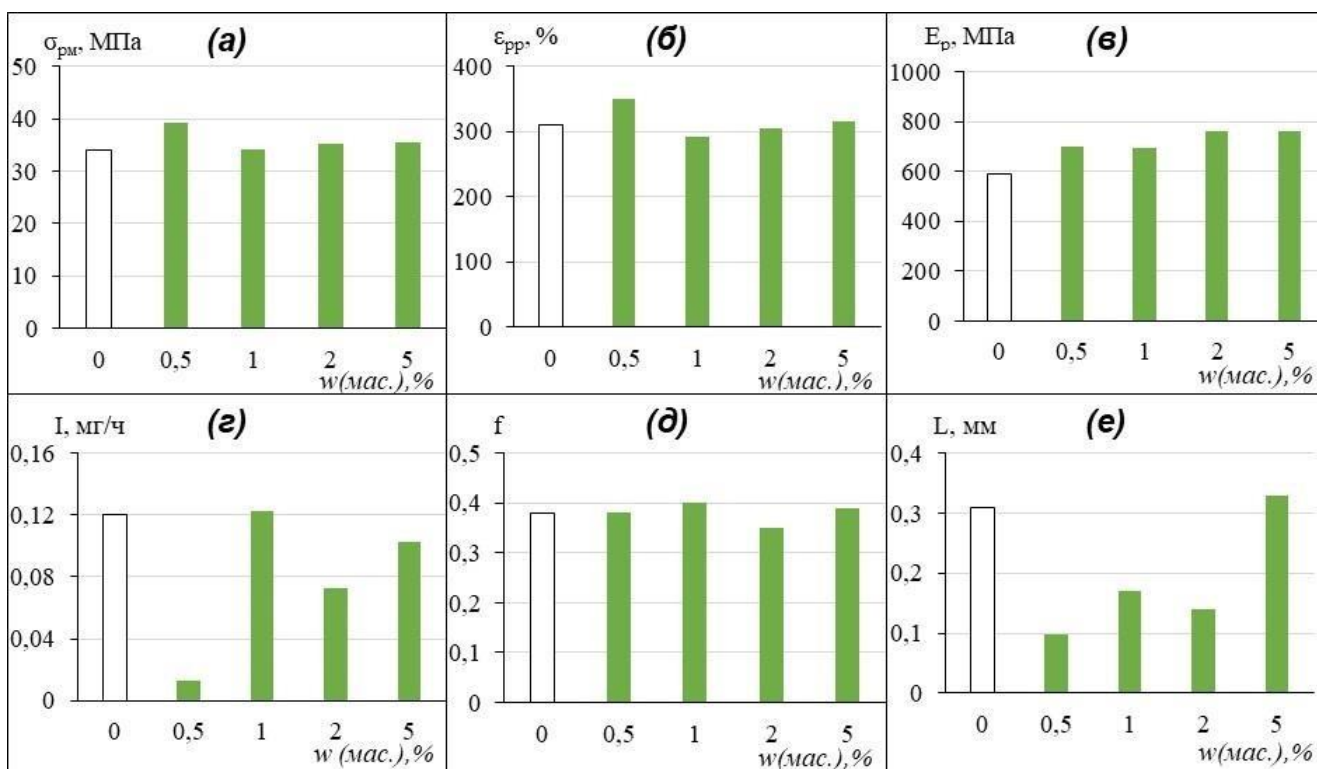


Рисунок 2 – Зависимость относительного удлинения при разрыве (а), предела прочности при растяжении (б), модуля упругости (в), скорости массового изнашивания (д), коэффициента трения (г) и линейного износа (е) от содержания волластонита в СВМПЭ

Анализ результатов исследований выявил, что модификация матрицы СВМПЭ волластонитом сопровождается увеличением износостойкости. Выявлено, что ПКМ, наполненный 0,5 мас.% волластонита, характеризуется увеличением относительного удлинения при разрыве на 12%, предела прочности при растяжении на 15 %, снижением скорости массового изнашивания в 6 раз и линейного износа в 3 раза по сравнению с исходным СВМПЭ. При введении 5 мас.% волластонита в СВМПЭ наблюдается максимальное увеличение модуля упругости, которое составило 29 %. Кроме того, при введении волластонита зафиксировано некоторое снижение коэффициента трения относительно исходного полимера.

Улучшение износостойкости ПКМ можно объяснить тем, что идет взаимодействие частиц наполнителя и композита с поверхностью стального контртела, что приводит к формированию вторичных структур. Формирование вторичных структур сопровождается снижением сдвигового напряжения при изнашивании и облегчением скольжения ПКМ при трении. При этом дальнейший износ идет по аналогичному механизму, что объясняет повышение износостойкости ПКМ. Дальнейшее увеличение содержания волластонита приводит к некоторому увеличению скорости массового изнашивания по сравнению с этим композитом, но ниже значения скорости изнашивания исходного СВМПЭ. Предполагается, что частицы волластонита будут интенсифицировать трибоокислительные реакции и будут воздействовать как абразивные частицы на соприкасающийся композит с контртелом при трении.

Таким образом, представлены результаты исследований влияния волластонита на физико-механические и трибологические свойства композитов на основе СВМПЭ. Зафиксировано повышение модуля упругости ПКМ во всем концентрационном интервале. Выявлено, что введение 0,5 мас.% волластонита приводит к некоторому увеличению физико-механических свойств ПКМ: наблюдается увеличение предела прочности на 15 % и относительного удлинения на 12 %. Результаты трибологических исследований выявили снижение линейного износа в 3 раза и скорости массового изнашивания в 6 раз относительно исходного СВМПЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Данилова, С.Н. Модифицирование СВМПЭ волластонитом, синтезированным из отходов борного производства [Текст] / С.Н. Данилова, С.Б. Ярусова, И.Ю. Буравлев [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2021. – Т. 7, №. 1. – С. 71.
2. Назаров, В.Г. Сопоставление влияния некоторых методов модификации на характеристики сверхвысокомолекулярного полиэтилена и композитов на его основе [Текст] / В.Г. Назаров, В.П. Столяров, Ф.А. Доронин // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2019. – Т. 61, №. 3. – С. 254-263.
3. Заболотнов, А.С. Влияние природы наполнителей на комплекс износостойких и физико-механических свойств композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, полученных методом полимеризации in situ [Текст]: дисс. ... канд. хим. наук: 02.00.06. / Заболотнов Александр Сергеевич. – Москва, 2019 – 167 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОРЫ ДАУРСКОЙ ЛИСТВЕННИЦЫ В ИНТЕРЕСАХ РАЗРАБОТКИ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Жебсаин Т.В.

СВФУ, Якутск, Россия

zhebstimur1234@gmail.com

“STUDIES OF THE MODIFIED BARK OF THE DAURIAN LARCH IN THE INTERESTS OF THE DEVELOPMENT OF THERMAL INSULATION MATERIALS”

На Дальнем Востоке, в частности, в Якутии даурская лиственница является одним из доминантных видов древесной растительности. Кора лиственницы являясь отходом деревообрабатывающей промышленности обладает пористостью и сорбирующей способностью [1-3]. Как известно, пористые материалы применяются в качестве сырья для производства теплоизолирующих материалов. В настоящее время, кора даурской лиственницы крайне недостаточно изучена в качестве потенциального сырья для производства строительных материалов. Цель работы: исследование структуры и плотности коры даурской лиственницы в естественном и модифицированном состояниях, в интересах разработки новых технологий производства теплоизолирующих строительных материалов.

В работе представлены результаты исследования изменений структуры и плотности коры лиственницы при гидротермической обработке. Для изучения признаков модификации строения коры лиственницы при гидротермической обработке были проведены спектральные исследования на спектральном анализаторе «Интегра спектра», производства ЗАО NT-MDT, г. Зеленоград. В таблице 1 представлены распределения максимумов спектров необработанной (в естественном состоянии) и обработанной вышеприведенным гидротермическим способом коры.

Таблица 1 – Распределение максимумов Рамановского смещения

№	Материал	Кол-во максимумов	Значения рамановского смещения максимумов (см ⁻¹)
1	Кора необработанная	6	A(1632) B(2038) C(2290) D(2706) E(3474) F(4079)
2	Кора обработанная	7	A(1650) B(2038) C(2360) D(2733) E(4074) F(4400) G(4609)

Из таблицы 1 видно, что спектр необработанной коры содержит ряд максимумов в районе волновых чисел 3000-5000 см⁻¹. У обработанной коры, по сравнению с необработанной отсутствует максимум E(3474), что вероятно обусловлено вымыванием древесной смолы или иных веществ в процессе

вываривания. С другой стороны, появились дополнительные максимумы F(4400) и G(4609), ранее не наблюдавшиеся у не модифицированной коры, что предположительно вызвано появлением новых соединений в процессе обработки.

Измерение плотности образцов коры привело к следующим, приведенным в табл. 2.

Таблица 2 – Плотности образцов коры лиственницы

№	Кора	Продолжительность нахождения в воде	Масса, г	Объем, мл	Плотность г/мл
1	Необработанная	0	0,37	1	0,37
2	Обработанная	0	0,17	0,8	0,21
3	Необработанная	90 мин	0,62	1,08	0,57
4	Обработанная	90 мин	0,34	0,9	0,38

Как видно из табл. 2, вываривание коры лиственницы привело к уменьшению её плотности с 0,37 г/мл до 0,21 г/мл т.е. на 42,5 %. Таким образом, после гидротермической обработки кора лиственницы становится менее плотной.

Как показали экспериментальные исследования гидротермическая обработка коры даурской лиственницы приводит к существенному увеличению её пористости, о чем свидетельствует понижение её плотности (до 40-42 %) по сравнению с необработанной. Результаты спектрального исследования, показали изменение её химического состава, что обусловлено интенсивным вымыванием смол и различных химических веществ, которые в свою очередь, в процессе вымывания механически пробивают каналы в образцах коры и как следствие увеличивают пористость исходного материала. Также следует отметить, что гидротермическая обработка очищает кору от различных микроорганизмов, что имеет немаловажное значение при производстве строительных материалов. На основе полученного сырья были изготовлены экспериментальные образцы матов и сидений для автомобилей, которые успешно прошли пробную эксплуатацию. Маты использовались для утепления перегородки между багажником и салоном автомобилей (см. рисунок 1) и в процессе их эксплуатации признаки повреждений или гниения не обнаружены.

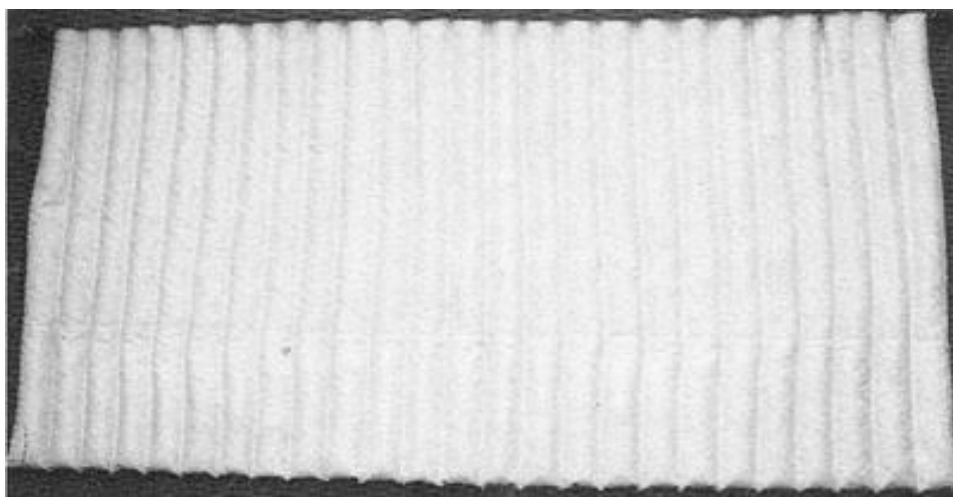


Рисунок 1 – Теплоизоляционный мат

Таким образом, гидротермическая обработка коры лиственницы способствует к появлению у неё свойств и качеств, повышающих её ценность как потенциального сырья для производства теплоизолирующих строительных материалов, в частности, для каркасного строительства. В дальнейшем планируются исследования возможности производства сыпучих теплоизолирующих материалов каркасного строительства и производства строительных брикетов на основе наполнителя, изготовленного из коры лиственницы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рудковский, А.В. Сорбция нефтепродуктов углеродными сорбентами из коры лиственницы сибирской [Текст] /А.В. Рудковский, О.Ю. Фетисова, Н.В. Чеснокова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия.- Том:9 , Номер:1.- Год:2016 С.-109-118.
2. Беседина, И.Н. Сорбционные свойства и тонкая структура активных углей из коры лиственницы сибирской [Текст] / И.Н. Беседина, М.Ю. Угай, В.С. Петров // Химия растительного сырья. – 1999. – № 4. – С. 113–117.
3. Семенович, А.В. Сбор проливов нефтепродуктов модифицированной корой хвойных пород [Текст] / А.В. Семенович, С.Р. Лоскутов, Г.В. Пермякова // Химия растительного сырья. – 2008. – № 2. – С. 113–117.

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО И МНИМОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МОРОЗОСТОЙКОЙ РЕЗИНЫ МЕТОДОМ НАНОДМА ИНДЕНТИРОВАНИЯ

Морозов А.В.¹, Кравчук К.С.²

¹ИПМех РАН, Москва, Россия; ²ТИСНУМ, Троицк, Россия

morozovalexei@mail.ru

“ESTIMATION OF THE REAL AND IMAGINARY PARTS OF THE DYNAMIC ELASTIC MODULUS
OF THE SURFACE LAYERS OF FROST-RESISTANT RUBBER BY THE METHOD OF NANODMA
INDENTATION”

Продемонстрировать полученные результаты расчетно-экспериментальной оценки мнимого (E'') и действительного (E') модулей упругости, а также тангенса угла потерь (δ) приповерхностных слоев двух типов морозостойких резин (БНКС-18 и СКИ-3).

В качестве исследуемых образцов были выбраны морозостойкие резины двух типов, а именно: БНКС-18 и СКИ-3.

Измерения проводятся на твердомере НаноСкан-4D (ТИСНУМ, Троицк). В качестве индентора использовался Al_2O_3 шарик диаметром 3 мм с шероховатостью поверхности по $Ra \leq 0,02$ мкм. Прибор может работать в режиме осциллирующего движения индентора с переменной частотой, меняющейся в диапазоне от 0,1 до 30 Гц и постоянной нагрузке на индентор, которая в данном исследовании составляла 50 гр (50 мН). Отметим, что при поддержании постоянной средней силы нагружения F на индентор подавались гармонические колебания с амплитудой 2,5 мН в диапазоне частот от 0,1 до 30 Гц. Испытание образца осуществлялось в следующей последовательности. Сначала устранялся эффект Патрикеева-Маллинза путем индентирования поверхности с максимальной частотой равной 30 Гц и нагрузке на индентор равной 50 мН в течении 60 с., затем поверхность образца “релаксировала” 20 с. и после этого в это же место повторно проводилось индентирование при заданной нагрузке и заданной частоте. Измерения проводились на 6 частотах: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 6; 30 Гц. Релаксация образца после нагружения длилась 120 с, колебания длились 60 секунд. Типичная запись зависимости нормальной нагрузки на индентор и глубины его внедрения от времени испытания поверхности образца представлен на рис. 1.

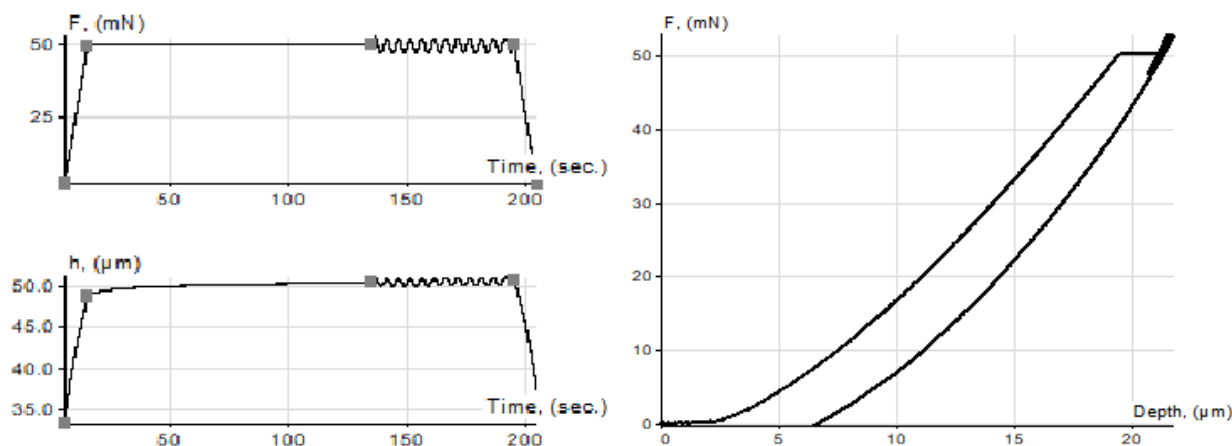


Рисунок 1 – Зависимость нагрузки (F) и глубины внедрения (h) от времени испытания для образца БНКС-18 резины

Проведены серии апробационных тестов и подстроен алгоритм получения зависимостей “нагрузка-глубина внедрения” при осциллирующем движении индентора прижатого к поверхности с малой нагрузкой (5 гр.) На основе полученных зависимостей разницы фаз и амплитуды внедрений были оценены вязкоупругие свойства приповерхностных слоев исследуемых образцов морозостойкой резины, которые для БНКС-18 составили E' — 17,5 МПа, E'' — 1,2 МПа, δ — 0,07 и для СКИ-3 составили E' — 3,26 МПа, E'' — 0,15 МПа, δ — 0,05 (при частоте 6 Гц).

Авторы выражают благодарность проф. Н.Н. Петровой и к.т.н. А.А. Дьяконову (ИЕН СВФУ им М.К. Аммосова) за изготовление образцов резины.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 23-19-00484.

ВЛИЯНИЕ ДИКУМИЛПЕРОКСИДА, ГИДРОКСИДА КАЛИЯ И ИХ КОМБИНАЦИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Неустроева О.С., Сидорова Д.Н.

СВФУ, Якутск, Россия

oneustroeva38@gmail.com

“EFFECT OF DICUMYL PEROXIDE, POTASSIUM HYDROXIDE AND THEIR COMBINATIONS ON THE PHYSICO-MECHANICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF ULTRAHIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE”

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) характеризуется высокими антифрикционными свойствами, прочностью, биоинертностью и химической стойкостью к углеводородным средам [1]. Модификацию СВМПЭ, для улучшения эксплуатационных свойств, в основном производится путем введения различных неорганических дисперсных наполнителей в полимерную матрицу [2, 3]. Но также возможно модификация при помощи органических наполнителей, которая является мало изученной областью влияния на свойства СВМПЭ и в дальнейшем может позволит расширить спектр разрабатываемых полимерных композиционных материалов (ПКМ). Целью данного исследования является изучение воздействия щелочи, окислителей и их комбинации на свойства СВМПЭ.

В работе приводятся результаты влияния дикумилпероксида (ДКП) (ТУ 113-03-469-80), гидроксида калия (ГК) (ГОСТ 127.4-93) и их комбинированное введение в СВМПЭ марки GUR-4150 на свойства ПКМ. Соотношение ДКП, ГК и СВМПЭ приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Соотношение ДКП, ГК и их комбинации к СВМПЭ.

№	ингредиенты	состав масс. частей композитов			
		1	2	3	4
1	СВМПЭ	100	98	98	96
2	ДКП	-	2	-	2
3	ГК	-	-	2	2

Исследование физико-механических свойств образцов проводилось на испытательной машине Autograph AGS-J (Shimadzu, Япония). Относительное удлинение при разрыве и предел прочности при растяжении определяли согласно ГОСТ 11262-2017 при скорости движения захватов 50 мм/мин. Исследование надмолекулярной структуры образцов проводилось на растровом электронном микроскопе JSM-7800F (JEOL, Япония) при низком ускоряющем напряжении.

Результаты исследований физико-механических свойств исходного СВМПЭ и композитов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства исходного СВМПЭ и композитов.

Свойства	№ композитов			
	1	2	3	4
$\sigma_{рм}$, МПа	41,3	19,5	39,3	17,2
$\epsilon_{рр}$, %	172	34	137	11

$\epsilon_{рр}$, % - относительное удлинение при разрыве; $\sigma_{рм}$, МПа - прочность при растяжении.

Из приведенных результатов очевидно, что введение ДКП и ДКП с ГК в СВМПЭ приводит к снижению физико-механических свойств, относительное удлинение при разрыве уменьшается до 16 раз, а прочность при растяжении в два раза. Добавление щелочи в полимер не приводит к существенному снижению физико-механических свойств. При этом допускается, что при совместном введении ДКП произошло взаимодействие с полимерной матрицей.

Микрофотографии надмолекулярной структуры в объеме исходного СВМПЭ и композитов приведены на рис. 1.

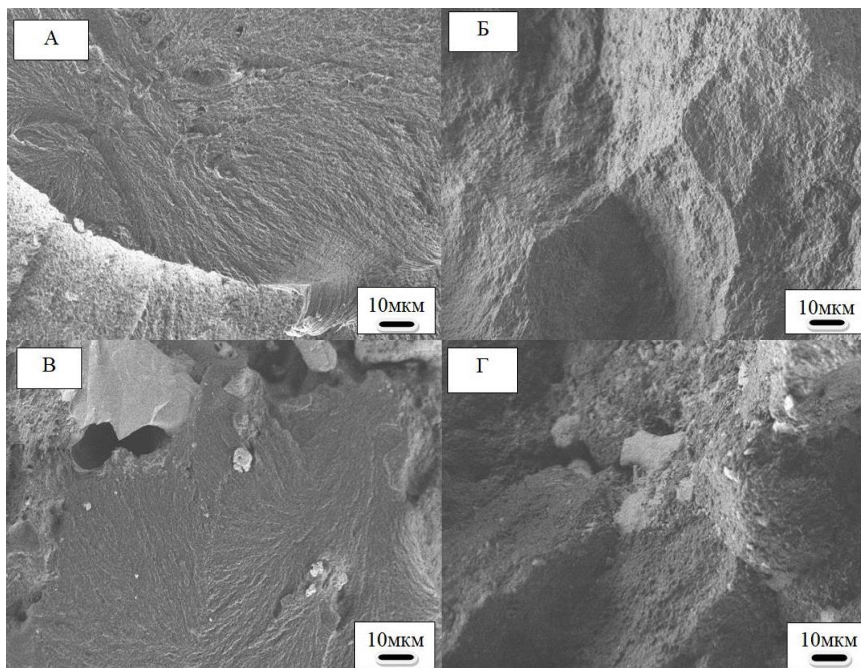


Рисунок 1. Надмолекулярная структура исходного СВМПЭ и композитов:
а) исходный СВМПЭ; б) СВМПЭ+2%ДКП; в) СВМПЭ+2%ГК; г) СВМПЭ+2%ДКП+2%ГК

Надмолекулярная структура исходного СВМПЭ имеет равномерную поверхность (рис. 1, а), при введении ДКП структура приобретает разрыхленный вид (рис. 1, б). Изменение структуры объясняет снижение деформационно-прочностных свойств. При добавлении ГК в СВМПЭ появляются частицы, а также наблюдается сглаживание структуры (рис. 1, в). Одновременное добавление в полимер дикумилпероксида и гидроксида калия с равными концентрациями по 2 мас.%, приводит к объединенному проявлению вышеуказанных особенностей (рис. 1, г).

Согласно полученным результатам, установлено, что добавление дикумилпероксида в СВМПЭ приводит к значительному снижению физико-механических свойств, щелочь не оказывает существенного влияния на свойства, а при введении их комбинации наблюдается наибольшее снижение, что сопровождается возможным протеканием реакции. Надмолекулярная структура исходного СВМПЭ имеет равномерную поверхность, у образца СВМПЭ+ДКП структура приобретает разрыхленный вид, при добавлении ГК в СВМПЭ наблюдаются отдельные частицы щелочи, у образца СВМПЭ+ГК+ДКП проявляются особенности каждого наполнителя на структуру.

Работа выполнена в рамках проекта FSRG-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Панин, С.В. Модифицирование сверхвысокомолекулярного полиэтилена нанонаполнителями для получения антифрикционных композитов [Текст] / С.В. Панин, В.Е. Панин, Л.А. Корниенко [и др.] // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2011. – №54(7). – С. 102–106.
2. Данилова, С.Н. Разработка износостойких полимер-полимерных композиционных материалов на основе СВМПЭ [Текст] / С.Н. Данилова, С.Б. Ярусова, А.А. Охлопкова [и др.] // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2020. – № 25(3). – С. 130–142.
3. Spiridonov, A.M. Polymer Composite Materials Based on Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Filled with Organomodified Zeolite [Text] / A.M. Spiridonov, M.D. Sokolova, A.A. Okhlopko // Polymer Science, Series D. – 2020. – Vol. 13. – P. 311-314.

ВЛИЯНИЕ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ НА ПОРИСТОСТЬ ЭПОКСИАНГИДРИДНОГО СТЕКЛОКОМПОЗИТА

Оллонова С.Н.¹, Кычкин А.К.², Васильева Е.Д.²

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ФИЦ ЯНЦ СО РАН, ИФТПС СО РАН, Якутск, Россия

ollonovas@gmail.com

“INFLUENCE OF UV IRRADIATION ON THE POROSITY OF EPOXYANHYDRIDE GLASS COMPOSITE”

В настоящее время особую актуальность приобретают проблемы разработки материалов, обладающих высокой климатической стойкостью, и обеспечения работоспособности сложных технических систем в условиях, связанных с освоением арктической зоны территории Российской Федерации. Существенное влияние на стойкость материалов оказывают климатические факторы (температура, влага и т. д.), которые при своем комплексном воздействии являются активаторами старения, способствуют развитию физико-химических процессов в материалах и за время эксплуатации изделий могут существенно снизить их прочностные свойства. Многие полимерные композиционные материалы, используемые в товарах широкого потребления, деградируют под действием УФ-облучения (фотостарение, фотодеструкция). Проблема проявляется в исчезновении цвета, потускнении поверхности, растрескивании, а иногда и полном разрушении самого изделия. Скорость разрушения (УФ-старения) возрастает с ростом времени воздействия и интенсивности солнечного света [1-4].

Для эксперимента были выбраны 2 партии образцов ПКМ на основе эпоксиангидридной смолы со 100%-ым содержанием стеклоткани (СП) и углеткани (УП), а также гибридные составы с содержанием стекло и углеткани 75%, 50%, 25% с маркировкой СПЗУП1, СП2УП2, СП1УП3. Размеры образцов составили 20×20×5 мм.

Установка состоит из корпуса, внутри которого расположены 6 люминесцентных ламп UVA (365 нм). Внутренняя часть камеры покрыта светоотражающей пленкой (коэффициент отражения 0,95). Камера снабжена датчиками температуры и времени. Контрольные взвешивание и макросъемку образцов проводили по истечении 500 ч и 1000 ч.

Предварительно все образцы высушивались в вакуумном сушильном шкафу (ШСВ 65/3,5, ООО МИУС, Россия, Тула) при 100 °С до постоянства массы. Первая партия после сушки помещалась сразу в камеру УФ-облучения, а вторая партия после определения равновесной массы помещалась в эксикатор с водой при температуре 60°С в течение 48 часов для насыщения влагой.

Таблица 1 – Изменение массы образцов после влияния УФ

№ п/п	Маркировка	Масса исходная, г (после сушки)	Масса после 500 часов, г	Масса через 1000 часов, г	Масса исходная 2-й партии, г (влагонасыщенная)	Масса 2-й партии через 500 часов, г	Масса 2-й партии через 1000 часов, г
1.	СП	3,5944	3,5952	3,5971	3,7125	3,6667	3,6678
2.	СПЗУП1	3,7662	3,7670	3,7679	3,6623	3,6506	3,6516
3.	СП2УП2	3,8066	3,8070	3,8085	3,7423	3,7295	3,7307
4.	СП1УП3	3,4453	3,4456	3,4471	3,4887	3,4753	3,4766
5.	УП	3,2183	3,2185	3,2198	3,309	3,2965	3,2974

Для определения открытой пористости образцов до и после УФ облучения использовали известный метод гидростатического взвешивания согласно ПНСТ 532-2021 [5]. В качестве пропитывающей жидкости выбран керосин. Использование высокопроницаемого керосина позволяет избежать дополнительных работ по пропитке, необходимых при использовании других жидкостей. Образцы предварительно высушивались в вакуумном сушильном шкафу при температуре 60 °С в течении 24 ч. Взвешивание осуществлялось на электронных аналитических весах.

Коэффициент сохраняемости (К), определяемый как отношение текущего значения к его исходному значению приведенных к 1.

Открытая пористость определялась по следующей формуле:

$$\Pi = \frac{m_{н.в} - m_0}{m_{н.в} - m_{н.ж}} \cdot 100\%$$

$m_{н.в}$ — масса насыщенного жидкостью для испытаний образца на воздухе, г;

m_0 — масса сухого образца, г;

$m_{н.ж}$ — масса насыщенного жидкостью для испытаний образца в емкости, г.

Для сравнительного анализа был введен K^* - коэффициент сохранения, $K_R = K_t / K_0$, где K_t принимает открытую пористость, измеренные после различных сроков экспонирования, K_0 принимает соответствующую открытую пористость в исходном состоянии.

Таблица 2 – Значения открытой пористости поверхности стекло и углепластика, а также гибридных составов 1 и 2 партий в сравнении с образцами после экспонирования в течение 1 года

Марка	Открытая пористость Π , %				K^*		
	Исходные	После 1 года экспонирования	1 партия (высуш)	2 партия (влаж)	После 1 года экспонирования	1 партия (высуш)	2 партия (влаж)
СП	0,17	0,44	1,2214	1,803	2,59	7,18	10,61
СПЗУП1	0,15	0,15	0,864	0,5058	1,00	5,76	3,37
СП2УП2	0,13	0,21	0,4268	0,4648	1,62	3,28	3,58
СП1УП3	0,19	0,23	0,636	0,6054	1,21	3,35	3,19
УП	0,13	0,42	0,4615	0,5786	3,23	3,55	4,45

K^* - коэффициент сохранения

По приведенным данным видно, что стеклопластик сильнее всего подвержен влиянию УФ. Выявлено, что влага ускоряет деструкцию материала – влажные образцы деструктировали сильнее, чем высушенные. Так, значения открытой пористости влажного СП, СП2УП2, УП в 1,47, 1,08 и 1,25 раз соответственно превышает значение сухого СП, СП2УП2, УП. Визуально на этих образцах видно явное изменение цвета.

Анализ открытой пористости экспонированных (1 год) и высушенных образцов показывает, что СПЗУП1 и СП превышает значение экспонированных в 5,76 и 2,77 раз соответственно, образцы СП2УП2, СП1УП3, УП – 2,02; 2,77; 1,09. Полученный результат показывает о поверхностной деструкции материала под влиянием УФ облучения.

Открытая пористость влажного СП превышает значение исходного в 62,42%, он деструктировал сильнее всех, коэффициент сохраняемости (K) равен 10,61. У образцов СПЗУП1, СП2УП2, СПЗУП1, УП, коэффициент сохраняемости составил от 3,15 до 4,45, которые находятся примерно на одном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Shokrieh M.M. Effects of ultraviolet radiation on mechanical properties of glass/polyester composites [Text] / M.M. Shokrieh, A. Bayat // Journal of Composite materials. – 2007. – Vol. 41, No. 20. – P. 2443-2455.
2. Kazi, S.N. Effect of UV radiation on the mechanical properties of basalt fiber reinforced epoxy composites [Text] / S.N. Kazi, C.K.H. Dharan, S. Nizamuddin // Materials Today: Proceedings. – 2017. – Vol. 4, No. 2. – P. 1077-1083.
3. Chennareddy R. UV-resistant GFRP composite using carbon nanotubes [Text] / R. Chennareddy, H. Tuwair, U.F. Kandil [et al] // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 220. – P. 679-689.
4. Butt S.U. Investigation of epoxy composites for outdoor insulation under accelerated ultraviolet exposure [Text] / S.U. Butt, A. Khattak, A. Ali [et al] // Materials Research Express. – 2021. – Vol. 8, No. 8. – P. 085303.
5. ПНСТ 532-2021 Системы космические. Композиты углерод-углеродные и керамоматричные. Определение кажущейся плотности и открытой пористости.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ И ДИБОРИДА ТИТАНА

Петров А.Д.¹, Лазарева Н.Н.¹, Аверичев О.А.², Столин А.М.²

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИСМАН РАН, Черногловка, Россия

aliksiuper2001@mail.ru

“STUDY OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITES BASED ON PTFE AND TITANIUM DIBORIDE”

В настоящее время полимерные композиты широко используются в ответственных узлах трения машин и механизмов. Для повышения надежности техники в узлах трения используются более износостойкие антифрикционные полимерные композиты на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ). Так как ПТФЭ имеет ряд недостатков, в него вводят различные добавки, которые улучшают его исходные характеристики. В связи с этим встает вопрос о разработке новых полимерных композиционных материалов на основе ПТФЭ. Целью данной работы является исследование влияния диборида титана на механические свойства политетрафторэтилена (ПТФЭ). Выбор диборида титана в качестве наполнителя для ПТФЭ обусловлен тем, что бориды тугоплавких металлов отличаются высокой твердостью, износостойкостью, тугоплавкостью, значительной химической стойкостью в различных агрессивных средах, тепло- и электропроводностью, обладают очень высокой температурой плавления [1], что является одним из ключевых факторов при выборе модификаторов, т.к. температура переработки ПТФЭ довольно высокая и равна 375°C.

В работе использован ПТФЭ марки ПН-90 (ГОСТ 10007-80) производитель АО «ГалоПолимер» (г. Кирово-Чепецк, Россия), со средним размером частиц 46 – 135 мкм. Диборид титана TiB₂ со средним размером частиц 10 мкм, был синтезирован в ФГБУН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН» методом самовоспламеняющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Исходные компоненты смешивали друг с другом в лабораторной мельнице, затем формовали методом холодного прессования. Полученный монолит спекали в муфельной печи по выбранной программе до ~375°C.

Физико-механические свойства ПКМ (предел прочности при растяжении, относительное удлинение при разрыве) определяли по ГОСТ 11262-80 на испытательной машине “Shimadzu AGS-J” при комнатной температуре и скорости перемещения подвижных захватов 50 мм/мин на лопатках, модуль упругости при растяжении по ГОСТ 9550-81 при скорости перемещения подвижных захватов 0.5 мм/мин, а предел прочности на сжатие по ГОСТ 4651-82 при скорости перемещения подвижных захватов 5 мм/мин на откалиброванных столбиках (количество образцов на одно испытание – 5) для образцов ПКМ на основе ПТФЭ.). Плотность материалов оценивали гидростатическим методом по ГОСТ 15139-69 (ISO 1183-1:2004).

Результаты механических исследований композитов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Механические характеристики ПКМ на основе ПТФЭ и TiB₂

Содержание наполнителя в ПТФЭ	Плотность ρ , г/см ³	Предел прочности при растяжении $\Delta\sigma_p$, МПа	Относительное удлинение при разрыве $\Delta\epsilon_p$, %	Модуль упругости E, МПа	Предел прочности деформации при сжатии		
					5% МПа	10% МПа	25% МПа
+ 0 мас. % TiB ₂	2,19	19	375	339	9	14	23
+ 0,1 мас.% TiB ₂	2,26	12	426	605	12	16	23
+ 0,25 мас.% TiB ₂	2,19	12	378	427	11	15	23
+ 0,5 мас.% TiB ₂	2,24	19	335	621	12	16	24
+ 1 мас.% TiB ₂	3,54	22	450	678	12	16	23
+ 2 мас.% TiB ₂	3,62	22	479	650	11	15	23
+ 5мас.% TiB ₂	3,54	17	326	592	12	16	24
+ 7мас.% TiB ₂	3,69	21	315	532	11	15	23

Как видно из табл. 1 введение диборида титана в ПТФЭ приводит к некоторому повышению механических показателей разработанных композитов. При сравнении влияния массового содержания диборида титана на деформационно-прочностные характеристики композитов показано, что с увлечением содержания предел прочности при растяжении не меняется, относительное удлинение при разрыве увеличивается при введении до 2 мас. % TiB_2 до 27%, а модуль упругости композитов заметно увеличивается до 2 раз. При этом предел прочности композитов при сжатии остается на уровне исходного ПТФЭ. А плотность композитов повышается прямо пропорционально увеличению содержания диборида титана TiB_2 в композиции до 65%, что обусловлено высокой плотностью наполнителя, который равен 4,52 г/см³.

Таким образом, показано, что использование диборида титана в качестве наполнителя приводит к повышению деформационно-прочностных характеристик и плотности ПТФЭ, т.е. разработанные композиты могут быть использованы в качестве герметизирующих деталей в технике. При этом предел прочности при сжатии разработанных ПКМ остаются на уровне исходного ПТФЭ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-20056, <https://rscf.ru/project/22-13-20056/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рогов, В.А. Новые материалы в машиностроении [Текст] / В.А. Рогов, В.В Соловьев, В.В Копылов – Москва: РУДН, 2008. –324 с.
2. Машков, Ю. К. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена [Текст] / Ю.К. Машков, З. Н. Овчар, В. И. Суриков, Л. Ф. Калистратова. – Москва: Машиностроение, 2005. – 240 с.
3. Цвайфель, Х. Добавки к полимерам [Текст] / Х. Цвайфель, Р. Д. Маер, М. Шиллер – Санкт Петербург: ЦОП «Профессия», 2016. – С. 492-501.

КИНЕТИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОМУФТОВОЙ СВАРКЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ С УПРАВЛЯЕМЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Старостин Н.П., Аммосова О.А., Петров Д.Д.

ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

amosova_o@mail.ru

“THE KINETICS OF CRYSTALLIZATION IN THE AREA OF STRUCTURAL CHANGES DURING ELECTROFUSION WELDING OF POLYETHYLENE PIPES WITH CONTROLLED COOLING AT LOW TEMPERATURES”

Полиэтиленовые (ПЭ) трубы получили широкое распространение при строительстве различных инженерных сетей водо- и газоснабжения. Сварку полиэтиленовых труб проводят при температуре окружающего воздуха от минус 15 до плюс 40 °С. Особенность полимерных материалов, заключается в низкой теплопроводности и достаточно медленном формировании структуры материала сварного шва. В отличие от низкомолекулярных веществ в полимерах оплавление и кристаллизация происходят в интервале температур. При сварке на открытом воздухе с температурой ниже определенного скорость охлаждения становится достаточно высокой, что рост кристаллов прерывается до образования упорядоченных надмолекулярных структур, обуславливающих высокую прочность соединения. При медленном охлаждении образуются кристаллы больших размеров, обуславливающие склонность полиэтилена к хрупкому разрушению. При температурах воздуха ниже минус 15 °С, характерных для многих регионов России, рекомендуется выполнение сварочных работ в укрытиях, в которых поддерживается температура из допустимого интервала. Однако такая сварка не может применяться для выполнения ремонтно-восстановительных работ в зимних условиях, ввиду больших временных затрат до достижения допустимой температуры на свариваемых участках.

В ИПНГ СО РАН разработана технология сварки ПЭ труб, позволяющая выполнять все операции на открытом воздухе без использования отапливаемых укрытий [1]. Технология включает предварительный подогрев свариваемых торцов труб и муфты, выравнивание температур, оплавление и управление охлаждением с помощью закладного нагревателя. Мощность нагревателя

при управляемом охлаждении определяется решением обратной задачи типа управления [2].

Известно, что структура материала зоны термического влияния (ЗТВ), обуславливающая прочность сварного соединения, зависит от температурно-временного режима охлаждения. При высокой скорости охлаждения образуется много центров кристаллизации, рост кристаллов прерывается до образования упорядоченных надмолекулярных структур [3–4]. Такой материал обладает низкой прочностью. При медленном охлаждении образуются кристаллы больших размеров, обуславливающие склонность полиэтилена к хрупкому разрушению. При оптимальной скорости охлаждения в результате роста кристаллов получают упорядоченные надмолекулярные образования сферической формы. При определенной степени кристалличности и размерах надмолекулярных образований материал сочетает комплекс физико-механических свойств, обуславливающих высокую прочность сварного соединения. Будем считать, что при допустимых для сварки температурах окружающего воздуха в сварном соединении реализуются режимы нагрева и охлаждения, при которых достигается прочность сварного шва, удовлетворяющая требованиям нормативных документов.

Решение обратной задачи управления охлаждением зависит от расположения точек задания температурной информации и весовых функций, выбор которых производится на основе априорной информации. В качестве априорной информации используем факт, что при механических испытаниях на прочность сварных соединений разрушение в большинстве случаев происходит по границе зон прогрева и термического влияния. При этом предполагается, что одинаковая динамика изменения температур, обуславливает идентичность кинетики кристаллизации. Также формируется надмолекулярная структура, обеспечивающая прочность соединения не ниже, чем при сварке в условиях допустимой температуры воздуха.

В процессе сварки формирование новой структуры при охлаждении полиэтилена происходят в области, ограниченной внешней границей ЗТВ. Эта граница определяется как максимально удаленная от нагревателя кривая, в точках которой достигается температура 120 °С в различные моменты времени после завершения нагрева. На рисунке 1 представлены динамики изотерм 100 °С, при которых кристаллизация завершается, стадии охлаждения при сварке в условиях допустимой и низких температур воздуха по расчетным режимам, полученным по наборам температурных данных и весовых функций. Здесь время в минутах отсчитывается с момента начала охлаждения. Внешняя граница ЗТВ представляет собой огибающую семейства таких изотерм с максимально удаленными от нагревателя точками при бесконечном множестве моментов времени. Полученные изотермы 100 °С в различные моменты времени позволяют утверждать, что размеры и формы ЗТВ при сварке в условиях допустимой температуры 20 °С и –40 °С по предлагаемой технологии близки при реализации режима нагрева, полученном решением обратной задачи.

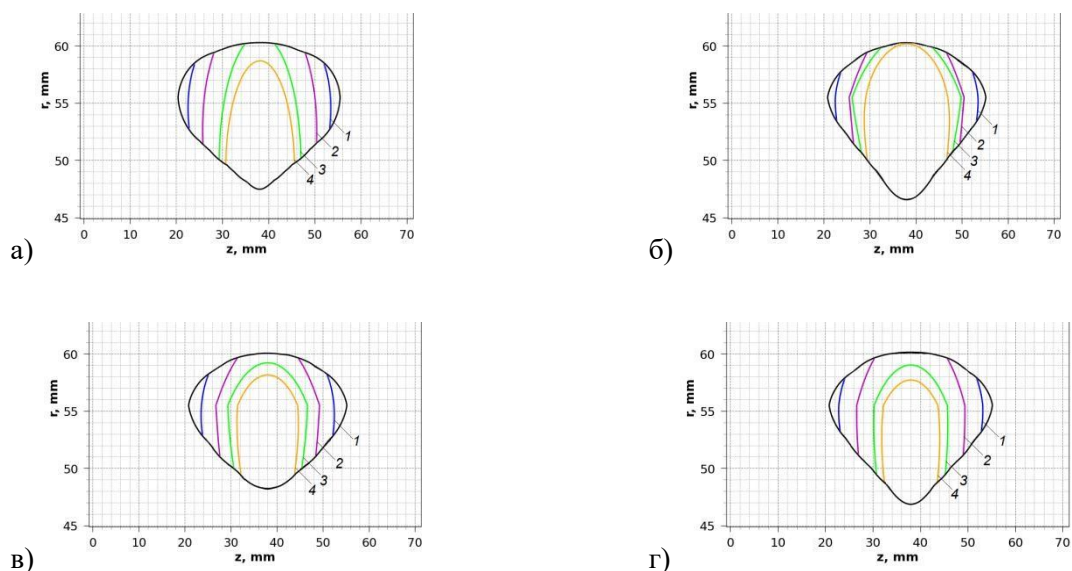


Рисунок 1 – Динамики изотерм 100 °С в сечении муфты и трубы вертикальной плоскостью при различных температурах ОВ и режимах нагрева при охлаждении, полученные по различным наборам данных: а) 20 °С; б) –40 °С, набор данных 1; в) –40 °С, набор данных 2; г) –40 °С, набор данных 3; 1 – 2; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 12 минут охлаждения соответственно

Из рис. 1 видно, что кинетике кристаллизации в сварном соединении, полученном при температуре 20 °С (а), наиболее близка кинетика кристаллизации в ЗТВ при сварке –40 °С с режимом нагрева при охлаждении, полученном с использованием набора температурных данных и весовой функции 2 (в). Таким образом, проведением расчетов с использованием различных наборов данных по температуре и весовым функциям можно определить временную зависимость мощности нагревателя на стадии охлаждения при сварке в условиях низких температур.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 122011100162-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пат. 2744141 Российская Федерация, МПК F16L 47/03 B29C 65/34. Способ сварки полимерных труб соединительными деталями с закладным нагревателем [Текст] / Старостин Н.П., Герасимов А.И., Данзанова Е.В., Аммосова О.А.; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук". – № 2019114641, заявл. 13.05.2021; опубл. 03.03.2021. – 4 с.
2. Старостин, Н.П. Обратная задача определения мощности закладного нагревателя при электромужфтовой сварке полиэтиленовых труб в условиях низких температур [Текст] / Н.П. Старостин, О.А. Аммосова, Д.Д. Петров // Сварка и диагностика. – 2023. – №. 3. – С. 27–31.
3. Шурайц, А.Л. Газопроводы из полимерных материалов: пособие по проектированию, строительству и эксплуатации [Текст] / А.Л. Шурайц, В.Ю. Каргин, Ю.Н. Вольнов. – Саратов: Изд-во «Журнал «Волга – XXI век», 2007. – 602–612.
4. Тагер, А.А. Физико-химия полимеров [Текст] / А.А. Тагер. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Научный мир, 2007. – 573с.

ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА МАРКИ 273-83

Петухова Е.С., Федоров А.Л., Аргунова А.Г.

ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

evgspar@rambler.ru

“FEATURES OF CLIMATE AGING OF POLYETHYLENE GRADE 273-83”

Полиэтилен (ПЭ) марки 273-83 (ТУ 2243-104-00203335-2005) в настоящее время производится практически на всех крупных предприятиях Российской Федерации (РФ), занимающихся производством полиолефинов, и находит применение как при выпуске водопроводных труб, так упаковочных материалов, тары и пр. К преимуществам данной марки ПЭ следует высокую технологичность материала, что позволяет изготавливать из него широкий ассортимент продукции.

Территория Республики Саха (Якутия) (РС(Я)) характеризуется весьма сложными климатическими условиями. В зимний период температуры окружающего воздуха могут понижаться до минус 50-60°С, в летний – повышаться до 35°С и выше, среднесуточные перепады температур могут достигать 20-30°С, а уровень солнечной радиации может превышать уровень некоторых южных территорий РФ. В связи с этим испытания стойкости материалов в данных климатических условиях будет определять не только продолжительность эксплуатации изделий, но и свидетельствовать о принципиальной возможности применения изделий на открытом воздухе в данных природно-климатических условиях.

В данной работе представлены результаты исследования климатической стойкости ПЭ марки 273-83 (ПАО «Казаньоргсинтез»). Испытания проводили на полигоне климатических испытаний «Якутск» (г. Якутск, ул. Автодорожная, д. 20). Программа климатических испытаний была составлена с учетом требований ГОСТ 9.708-83. Испытания проводились в течение 18 месяцев с этапами выемки после 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18 мес экспонирования в период с 14.08.2021 по 14.01.2023. После каждого этапа выемки определяли физико-механические свойства материалов по ГОСТ 11262-2017, плотность по ГОСТ 15139-69, показатель текучести расплава (ПТР) по ГОСТ 11645-2021. Метод ИК-спектроскопии (Nicolet Protege 460 ESP (США)) применяли для определения химических изменений, протекающих в материале при климатическом старении. Исследование степени кристалличности, температуры и энтальпии плавления проводили методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе NETZSCH DSC 204 HP Phoenix (Германия).

Исследование физико-механических характеристик экспонируемого материала показало, что удовлетворительный уровень свойств ПЭ марки 273-83 сохраняет до 9 месяцев экспонирования, после

12 месяцев экспонирования материал демонстрирует поведение хрупкого тела – показатель удлинения при разрыве не превышает 2-6%.

ИК-спектроскопические исследования показали, что в отличительной чертой изучаемой марки ПЭ является наличие концевых винильных групп, что проявляется на спектрах полосами поглощения при 909 и 990 см^{-1} , соответствующих неплоским деформационным колебаниям С-Н в концевой винильной группе, появление которых, вероятно, обусловлено особенностями способа полимеризации. После климатического старения на спектрах появляются характеристические полосы поглощения карбонильной группы (1712 см^{-1} – кетоны, альдегиды, 1740 см^{-1} – сложные эфиры). Расчет карбонильного индекса ($C_I = A_{1712}/A_{1472}$) показал, что количество данных групп увеличивается с ростом продолжительности экспонирования, что связано с интенсификацией протекания окислительных реакций с участием кислорода воздуха, инициированных УФ-частью спектра солнечного излучения. При расчете винильного индекса ($V_I = A_{909}/A_{1472}$) также зафиксирован рост количества концевых винильных групп, накопление которых обусловлено протеканием фотохимических реакций, которые сопровождаются разрывом цепи. Механизмы протекающих реакций отражены в статьях [1-3].

При исследовании плотности и ПТР состаренных материалов выявлены схожие зависимости от продолжительности экспонирования. Указанные характеристики на начальных этапах экспонирования (1-3 месяца) снижаются, затем наблюдается появление плато (3-9 месяцев), после 12 месяцев экспонирования плотность и ПТР возрастают. Полученные результаты косвенно свидетельствуют о том, что на начальном этапе в материале протекают преимущественно реакции радикального сшивания, в период с 3 до 9 месяцев скорости сшивания и деструкции выравниваются, а после 9 месяцев скорость деструкции значительно превалирует над реакциями сшивания. Схожие исследования, включая результаты модельных экспериментальных работ, отражены в статьях [4-7].

На рисунке 1 представлены результаты исследования степени кристалличности и ее изменение при переходе от одного этапа изъятия к другому.

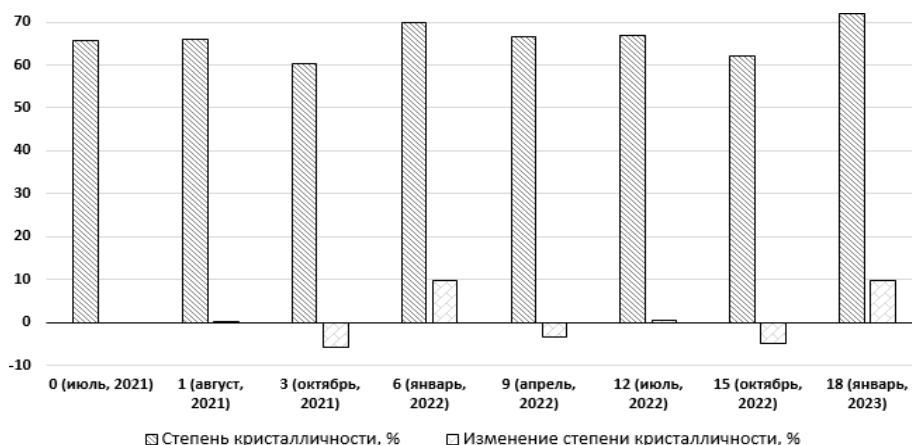


Рисунок 1 – Степень кристалличности и ее изменение в зависимости от продолжительности экспонирования

Видно (рис. 1), что изменение степени кристалличности ПЭ происходит немонотонно, наименьшая величина степени кристалличности наблюдается в материале в летне-осенний период, наибольшая – в осенне-зимний. С учетом результатов исследования особенностей химической деградации ПЭ при старении, предполагается, что за счет уменьшения молекулярной массы и протекания процессов сшивания/разрыва молекулярных цепей происходит вторичная кристаллизация аморфной фазы, а также накопление дефектных областей, что после 9 месяцев натурального экспонирования приводит к охрупчиванию образцов материала в целом.

Благодарность: Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ №122011100162-9 с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН, грант № 13.ЦКП.21.0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gardette M. Photo-and thermal-oxidation of polyethylene: comparison of mechanisms and influence of unsaturation content [Text] / M. Gardette, A. Perthue, J.L. Gardette [et al.] // Polymer Degradation and Stability. – 2013. – Vol. 98, No. 11. – P. 2383-2390.
2. Kamalian P. Toward the development of polyethylene photocatalytic degradation [Text] / P. Kamalian, S.N. Khorasani, A. Abdolmaleki [et al.] // Journal of Polymer Engineering. – 2020. – Vol. 40, No. 2. – P. 181-191.
3. Hsu Y. C. A fundamental study on photo-oxidative degradation of linear low density polyethylene films at embrittlement [Text] / Y.C. Hsu, M.P. Weir, R.W. Truss [et al.] // Polymer. – 2012. – Vol. 53, No. 12. – P. 2385-2393.
4. Rodriguez A.K. Effect of UV-aging on the mechanical and fracture behavior of low density polyethylene [Text] / A.K. Rodriguez, B. Mansoor, G. Ayoub [et al.] // Polymer Degradation and Stability. – 2020. – Vol. 180. – P. 109185.
5. Becerra A. F. C., d'Almeida J. R. M. UV Effects on the Tensile and Creep Behaviour of HDPE [Text] / A.F.C. Becerra, J.R.M. d'Almeida // Polymers and Polymer Composites. – 2017. – Vol. 25, No. 5. – P. 327-332.
6. Yu S. Thermal conduction behaviors of chemically cross-linked high-density polyethylenes [Text] / S. Yu, C. Park, S.M. Hong [et al.] // Thermochimica acta. – 2014. – Vol. 583. – P. 67-71.
7. Liu Y. Thermophysical properties of cross-linked polyethylene during thermal aging [Text] / Y. Liu, J. Sun, S. Chen [et al.] // Thermochimica Acta. – 2022. – Vol. 713. – P. 179231.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАПОЛНЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БНКС-18, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГИДРОЛИЗАТОМ КОЛЛАГЕНА

Плотникова Ю.А., Артахинова С.Ф., Шапошникова Я.А.

СВФУ, Якутск, Россия

vyplotnikova@mail.ru

“STUDY OF THE PROPERTIES OF RUBBERS FILLED WITH CARBON BLACK BASED ON BNKS-18 MODIFIED WITH COLLAGEN HYDROLYZATE”

Исследовано влияние гидролизата коллагена на свойства БНКС-18, наполненных техническим углеродом. Показано, что при введении гидролизата коллагена увеличивается прочность, а также по мере увеличения содержания ГК увеличивается густота вулканизационной сетки. Результаты морозостойкости показали, что данный модификатор способствует сохранению низкотемпературных свойств исследуемых резин.

Исследование, опубликованное в журнале Regional Research of Russia показало, что для развития арктических проектов необходимо укреплять горизонтальные связи между представителями регионов, некоммерческих организаций, экспертного сообщества и коренных народов Севера. В данное время в мире производятся различные виды синтетических каучуков, в том числе бутадиен-нитрильный каучук (БНКС). Натуральный каучук по всем свойствам лучше синтетических, т.к. имеет высокие адгезионно-когезионные свойства, сопротивление раздиру, морозостойкость и др. Это объясняется присутствием в нем белков, минеральных солей, высших жирных кислот и их производных и т.д. Известно, что для модификации синтетического каучука использовались соединения, содержащие полярные группы-белки, выделенные из латекса, гидролизат кератинового белка с ПАВ, фосфолипиды и др [1-4]. Использование отходов рыбной промышленности позволяет не только организовать безотходное производство и снизить экологическую нагрузку в окружающую среду, но и создать новые, экологически чистые эластомерные материалы и резино-технические изделия, позволяющие заменить частично продукты нефтяной промышленности.

В качестве эластомерной матрицы использовали бутадиен-нитрильный каучук (БНКС-18). Гидролизат коллагена вводили в стандартную рецептурную смесь в количестве от 1 до 5,7 масс.ч. на 100 масс.ч. каучука [5]. Вулканизацию проводили в гидравлическом прессе при температуре 142°C до достижения оптимума вулканизации. Определение упруго-прочностных свойств исследуемых образцов проводили на универсальной электромеханической испытательной машине серии Autograph AGS-JSTD (Shimadzu, Япония) по стандартной методике ГОСТ 270-75. Коэффициент морозостойкости определяли по эластическому восстановлению после сжатия при температуре -20, -30, -40, -50 °C – по ГОСТ 13808-79. Параметры вулканизационной сетки вычисляли по уравнению Флори-Ренера. Для этого образцы экстрагировали в ацетоне, затем образцы сушили до постоянной массы и подвергали набуханию в хлороформе.

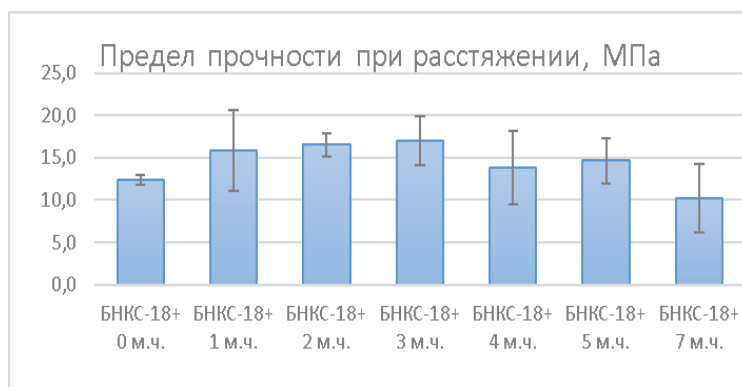


Рисунок 1 – Влияние дозировки модификатора на прочность при растяжении резин на основе БНКС-18

Анализ упруго-прочностных свойств исследуемых резин показал (рис.1), что по мере увеличения содержания ГК постепенно увеличивается прочность при растяжении и достигает максимального значения при концентрации ГК 3 масс.ч. , что на 37% выше по сравнению с исходной резиной не содержащей ГК. Далее данный показатель уменьшается по мере увеличения содержания ГК в рецептуре резиновых смесей. При более высоких концентрациях ГК (7 масс.ч.) прочность при растяжении становится меньше контрольного образца, что указывает о выходы из оптимума концентраций.

Установлено, что по мере увеличения содержания ГК увеличивается густота вулканизационной сетки. Мы предполагаем, что в процессе переработки резиновых смесей ГК участвует в процессе сшивания эластомерного материала, способствуя образованию дополнительных поперечных связей между макромолекулами каучука. По-видимому, аминогруппы, входящие в структуру гидролизата коллагена реагируют с нитрильной группой каучука с образованием амидиновых связей.

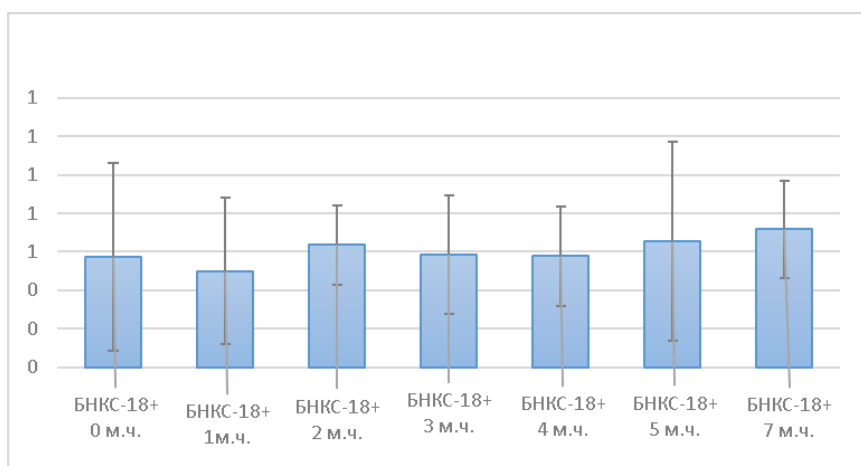


Рисунок 2 – Влияние дозировки модификатора на коэффициент морозостойкости резин при -30°C

Результаты показали, что данный модификатор способствует сохранению низкотемпературных свойств исследуемых резин (рис. 2). По-видимому, повышения морозостойкости может быть связано с увеличением плотности сшивания резин в присутствии гидролизата коллагена. Известно, [6] что повышение в некоторых пределах густоты сшивания эластомерного материала приводит к повышению коэффициента морозостойкости резин.

Исследовано влияние гидролизата коллагена на свойства БНКС-18, наполненных техническим углеродом. Показана перспективная возможность применения ГК в рецептуре резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колотилин, Д.В. Гидролизаты серосодержащих полипептидов (кератинов) как новые ингредиенты полимерных композиционных материалов [Текст] / Д.В. Колотилин, Е.Э. Потапов, С.В. Резниченко [и др.] // Каучук и резина. – 2016. – №. 3. – С. 18-23.

2. Рахматуллина, А.П. Влияние количества белково-липидных комплексов, действующих в качестве модификатора, на характеристики резин на основе синтетического полиизопрена [Текст] / А.П. Рахматуллина, Х.Т. Чан, Е.Э. Потапов // Каучук и резина. – 2019. – Т. 78, №. 6. – С. 350-355.
3. Гончарова, Ю.Э. Исследование влияния биологически активных модификаторов на свойства резиновых смесей на основе синтетического полиизопрена: Дис. канд. хим. наук. — М., 1998. — 217 с.
4. Иванова, С.Ф. Перспективы модификации бутадиен-нитрильных каучуков гидролизатом коллагена из северных видов рыб [Текст] / С.Ф. Иванова, Н.Н. Петрова // Каучук и резина. – 2019. – Т. 78, № 5. – С. 302-307.
5. Кошелев, Ф.Ф. Общая технология резины [Текст] / Ф.Ф. Кошелев, А.Е. Корнев, А.М. Буканов. - М.: Химия, 1978. –528 с.
6. Кучерский, А.М. Упругие и релаксационные свойства резин при малых деформациях [Текст] / Кучерский А.М: автореферат на соискание уч.ст. д.т.н. М., 1995. - 43 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ АРМИРУЮЩИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПКМ

Проценко А.Е., Ковалев М.И., Петров В.В.

ФГБОУ ВО «КНАГУ», Комсомольск-на-Амуре, Россия

[*protsenko.ae@yandex.ru*](mailto:protsenko.ae@yandex.ru)

“THE USE OF RECYCLED FILLERS FOR PCM PRODUCTION”

Широкая востребованность полимерных композитов в различных отраслях машиностроения приводит к увеличению спроса в данных материалах. Ввиду длительного цикла эксплуатации вопросы вторичной переработки данных материалов не прорабатывались в достаточной степени. При этом ПКМ на основе терморектопластичных матриц не могут быть переработаны традиционными способами с сохранением свойств наполнителя [1,2]. Несмотря на это в составе отработанных ПКМ находятся дорогостоящие наполнители, возврат которых в производственный цикл позволит снизить затраты на производство изделий.

В данной работе рассматривается процесс рециклинга ПКМ на основе углеродного волокна и эпоксидного связующего в среде сверхкритического этанола концентраций 90 % [3]. Сольволиз осуществлялся в реакторе высокого давления со фторопластовым вкладышем объемом 25 мл. В работе [4] представлена технология использования катализаторов сольволиза, которые позволяют существенно ускорить и удешевить процесс. В рамках данного исследования сольволиз проводился при 250 °С в присутствии катализатора SnCl₂ до получения очищенных волокон. На рисунке 1 представлены фотографии образцов.

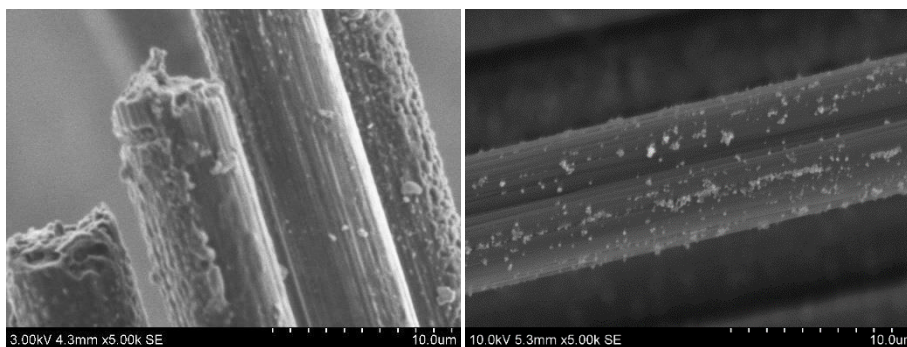


Рисунок 1 – Микроснимки углеродных волокон: а) первичное, б) восстановленное

По данным растровой электронной микроскопии на поверхности первичных углеродных волокон находятся агломерации частиц аппрета. На восстановленных волокнах также присутствуют частицы.

Исследование прочности углепластиков показало, что материалы, изготовленные из восстановленных волокон, сохраняют свои свойства и в результате обработки в среде сверхкритического этанола в присутствии SnCl₂ удалось повысить прочность на изгиб на 18 %.

Дальнейшее развитие данного направления позволит получать вторичные материалы, способные использоваться в процессах получения конструкционных ПКМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Elghazzaoui H. Recycling of aeronautical composites by supercritical solvolysis [Text] / H. Elghazzaoui, E.L. Salle, J. Bellettre // *Matér. Tech.* – 2012. – Vol. 100. – P. 517-524.
2. Borjan D. Recycling of carbon fiber-reinforced composites—Difficulties and future perspectives [Text] / D. Borjan, Z. Knez, M. Knez // *Materials.* – 2021. – Vol. 14, No. 15. – P. 4191.
3. Protsenko A.E. Recycling of Epoxy/Fiberglass Composite Using Supercritical Ethanol with (2, 3, 5-Triphenyltetrazolium) 2 [CuCl₄] Complex [Text] / A.E. Protsenko, A.N. Protsenko, O.G. Shakirova // *Polymers.* – 2023. – Vol. 15, No. 6. – P. 1559.
4. Protsenko A.E. Recycling of Epoxy/Fiberglass Composite Using Supercritical Ethanol with (2, 3, 5-Triphenyltetrazolium) 2 [CuCl₄] Complex [Text] / A.E. Protsenko, A.N. Protsenko, O.G. Shakirova [et al.] // *Polymers.* – 2023. – Vol. 15, No. 6. – P. 1559.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА, КАОЛИНИТА И ШПИНЕЛИ МАГНИЯ

Слепцова А.П., Тарасова П.Н., Лазарева Н.Н., Капитонова Ю.В.

СВФУ, Якутск, Россия

alinasleptsova01@gmail.com

“DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MATERIALS FOR TRIBOTECHNICAL PURPOSE BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE, KAOLINITE AND MAGNESIUM SPINEL”

В последнее время в качестве уплотнительных материалов в узлах трения машин и механизмов все чаще применяются полимерные материалы. Среди полимерных материалов, применяющихся в сложных условиях эксплуатации, наиболее перспективным является политетрафторэтилен (ПТФЭ), обладающий уникальной химической инертностью, высокой термической стойкостью и морозостойкостью, низкой адгезионной способностью и низким коэффициентом трения. Однако наряду с этим ПТФЭ обладает и рядом отрицательных качеств, таких как низкая износостойкость, высокий коэффициент линейного термического расширения и способность деформироваться в нормальных условиях даже при небольших нагрузках. Добавление различных наполнителей в полимерную матрицу является альтернативным способом создания материалов с принципиально новыми заданными технологическими и эксплуатационными свойствами. Использование в качестве наполнителей минеральных слоистых силикатов открывает большие перспективы для создания материалов со значительно улучшенными характеристиками исходных матриц.

Целью работы является исследование свойств полимерных композиционных материалов на основе ПТФЭ, механоактивированного каолинита и шпинели магния.

В качестве основы композита выступает ПТФЭ ПН-90 продукт ОАО «Галополимер Пермь». В качестве наполнителей используется каолинит (К) Глуховецкого месторождения (Украина). В работе для улучшения совместимости наполнителя с ПТФЭ дополнительно использовали шпинель магния (ШМ), синтезированную в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН.

Композиты получали при сухом смешении компонентов, после механоактивации наполнителей в планетарной мельнице «Активатор-2S» (1356 об/мин) в течение 2 мин, с последующим холодным прессованием (нагрузка 50 МПа) и спеканием до 375°C.

Триботехнические свойства определяли на высокотемпературном универсальном трибометре SETR UMT – 3 (США) по схеме трения «палец-диск», под нагрузкой 160 Н, со скоростью скольжения 0,2 м/с в течение 3 ч. ИК-спектры композитов снимали на ИК-спектрометре с Фурье-преобразованием Varian 7000 FT-IR.

Результаты исследования скорости массового изнашивания, коэффициента трения композитов на основе ПТФЭ в зависимости от процентного содержания механоактивированного каолинита и шпинели магния приведены на рисунке 1.

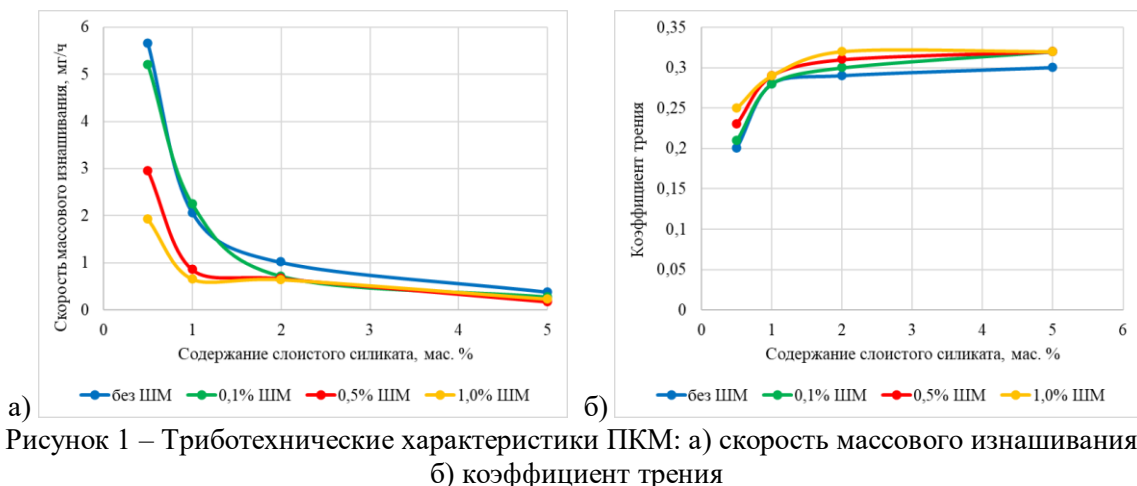


Рисунок 1 – Триботехнические характеристики ПКМ: а) скорость массового изнашивания; б) коэффициент трения

При введении наполнителей наблюдается повышение износостойкости в 700 раз относительно исходного ПТФЭ. Такое поведение может быть обусловлено усилением адгезионного взаимодействия компонентов в композите вследствие эффективного участия слоистых силикатов в формировании граничного слоя на границе раздела «полимер-наполнитель». Также следует отметить, что введение наполнителей сопровождается незначительным повышением коэффициента трения, что возможно связано с образованием в полимерной матрице сферолитов различных форм и структур, разрушение которых требует больших энергетических затрат [1].

Для оценки влияния наполнителей на процессы изнашивания ПКМ проведены структурные исследования методом ИК-спектроскопии (рис. 2).

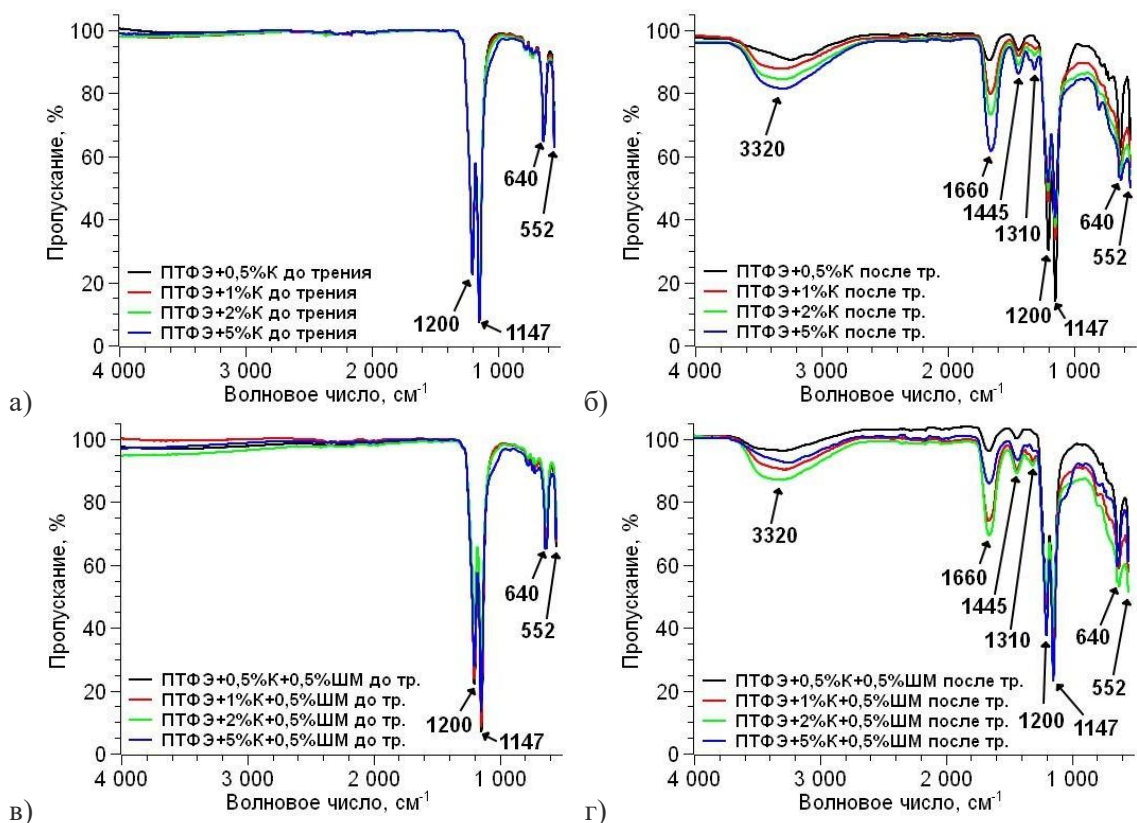


Рисунок 2 – ИК-спектры композитов до (а,в) и после (б,г) трения в зависимости от содержания наполнителей

На рис. 2 представлены ИК-спектры композитов до после трения в зависимости от содержания наполнителей. Во всех ИК-спектрах наиболее интенсивными являются полосы, относящиеся к валентным колебаниям CF_2 -групп. В области низких волновых чисел располагаются веерные и деформационные колебания CF_2 -групп, а также пики, относящиеся к колебаниям молекулярных цепей в аморфной фазе ПТФЭ. После трения во всех ИК-спектрах появляются широкие полосы поглощения,

соответствующие валентным колебаниям О-Н связей ($3600 - 2500 \text{ см}^{-1}$), и пики при $1660, 1445, 1310 \text{ см}^{-1}$ характеризующиеся антисимметричным и симметричным колебаниям карбоксилат-анионов. Появление пиков данных групп подтверждает окисление концевых групп фрагментов макромолекул ПТФЭ в композите в процессе трения [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-13-20056, <https://rscf.ru/project/22-13-20056/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тарасова, П.Н. Влияние механоактивированных каолинита и шпинели магния на триботехнические характеристики и структуру поверхностей трения ПТФЭ / П.Н. Тарасова, С.Н. Данилова, А.А. Охлопкова [и др.] // Трение и износ. – 2022. – Т. 43, №. 5. – С. 476-483.
2. Игнатъева, Л.Н. ИК-спектроскопические исследования политетрафторэтилена и его модифицированных форм / Л.Н. Игнатъева, В.М. Бужник // Российский химический журнал. – 2008. – Т. LII, №. 3. – С. 139-146.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕОРИЯ ПРЯМОГО ОДНОСТОРОННЕГО ПРЕССОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Столин А.М., Стельмах Л.С.

ИСМАН, Черноголовка, Россия

amstolin@ism.ac.ru

**“NON-STATIONARY THEORY OF DIRECT ONE-SIDED PRESSING OF COMPOSITE POWDER
MATERIALS BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE”**

В настоящем докладе обсуждаются основные экспериментальные и технологические результаты по различным аспектам исследований твердофазных процессов, выполненных авторами в рамках гранта Российского научного фонда № 22-13-20056 (руководитель гранта академик А.А. Охлопкова). На основе проведенного теоретического и экспериментального анализа процесса одностороннего холодного прессования на плунжере пресса в режиме заданной скорости поршня выявлена принципиальная особенность кинетики уплотнения: в этом случае после некоторого периода индукции происходит прогрессивное нарастание сопротивления деформированию. Этот эффект обусловлен сильной нелинейной зависимостью объемной вязкости от плотности. Проведенный анализ позволил выбрать рациональный режим одностороннего прессования порошковых материалов, позволяющий получить однородное распределение плотности по объему материала, а также определить необходимое время эксперимента для получения компактной заготовки. Получены реологические кривые зависимостей напряжения от деформации, с помощью которых определен период индукции прогрессивного нарастания напряжений внутри образца.

В теории и практике одностороннего прессования порошковых материалов в зависимости от задаваемых извне условий на перемещение поршня различают два наиболее распространенных в технологической практике режимов уплотнения порошковых материалов: режим заданного усилия либо режим заданной его скорости. На основе численных расчетов установлено, что зависимость скорости плунжера от напряжения на нем имеет немонотонный характер, что обусловлено конкурентным влиянием динамического фактора – нагрузки и зависимости объемной вязкости от плотности. Характерной особенностью процесса прессования является увеличение сопротивления материала к деформированию по мере изменения объемной вязкости в зависимости от плотности. Как следствие этой способности идет жесткая конкуренция между деформационными факторами и торможением (замедлением) процесса уплотнения. Однако эта конкуренция может оказаться либо полезной, либо вредной в зависимости от выбора режима деформирования. На основе численных расчетов установлено, что зависимость скорости плунжера от напряжения на нем имеет немонотонный характер, что обусловлено конкурентным влиянием динамического фактора - нагрузки и зависимости объемной вязкости от плотности. На убывающей ветви более существенно влияние увеличение плотности, что вызывает рост объемной вязкости, и как следствие, приводит к понижению скорости плунжера. Существование максимального значения скорости плунжера, зависящего лишь от времени и начального распределения плотности, является принципиальной особенностью уплотнения сжимаемых материалов, обусловленной зависимостью объемной вязкости от плотности.

В режиме заданного усилия имеет место «вредный эффект» – автозамедление кинетики уплотнения: скорость перемещения поршня в зависимости от времени резко падает. На практике из-за больших значений объемной вязкости пористого порошкового материала достижение беспористого однородного состояния происходит за время, многократно превышающего длительность проведения эксперимента. С общей точки зрения, время наблюдения за экспериментом должно соответствовать времени самого процесса образования беспористого компактного материала прессуемой заготовки. Соблюдение этого условия может оказаться трудоемким и поэтому для практических задач целесообразно ввести условную границу, определяющую окончание эксперимента. Однако процесс уплотнения нижних слоев может продолжаться и при неподвижном плунжере. Эта стадию процесса прессования называют выдержкой порошкового материала под давлением. Время выдержки под давлением может оказаться очень долгим. Эта ситуация вносит неопределенность в *определение времени окончания эксперимента*. В режиме заданного усилия согласно условиям равновесия сил осевое напряжение по высоте материала на стенке пресс-формы из-за пристенного трения резко падает. Как следствие, сопротивление деформированию сжимаемого материала увеличивается во времени, а скорость плунжера падает. Показано, что в режиме заданного усилия имеет место «вредный эффект» – происходит прогрессивное автоторможение процесса уплотнения во времени. Показано, что прессование в режиме заданной скорости позволяет получить компактный материал заготовки, а однородное распределение плотности осуществляется за меньшее время.

В режиме заданной скорости имеет место полезный для технологической практики эффект – реализуется критическое явление, которое сопровождается прогрессивным нарастанием давления во времени. В результате происходит интенсификация процесса уплотнения, обеспечивающая прогрессивное нарастание давления во времени. Как следствие, после некоторого периода имеет место автоускорение кинетики уплотнения материала. Прессование в этом режиме позволяет получить более однородное распределение плотности за значительно меньшее время эксперимента. Полученные теоретические и экспериментальные результаты позволили обосновать возможность реализации рациональной твердофазной технологии прессования порошковых материалов на основе ПТФЭ для получения заготовок и изделий, рисунок 1. Это обстоятельство позволяет внести в теорию процессов прессования порошковых материалов новые идеи.

Описанная ситуация имеет физический аналог процессам горения и взрыву, и ряду других критических явлений. Природа известных критических явлений различна, и каждому из них присуща своя специфика. Однако для всех этих явлений существуют общие характерные особенности и следствия, важные для технологической или исследовательской практики. Намного проще работать с объектом научного исследования, если находишь аналог последнего с явными и понятными характеристиками. Прямая аналогия дает основания для общего подхода к ним.



Рисунок 1 – Полученные методом холодного одноосного прессования композитные образцы на основе ПТФЭ с различными добавками диаметром от 10 до 70 мм

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-20056.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Столин, А.М. Использование холодного прессования в переработке композиционного материала на основе фторполимера [Текст] / А.М. Столин, Л.С. Стельмах, Э.В. Стельмах // Теоретические основы химической технологии. – 2023. – Т. 57, №. 1. – С. 117-124.
2. Столин, А. М., Стельмах Л. С. Особенности кинетики уплотнения композиционного материала на основе политетрафторэтилена в режиме постоянной скорости плунжера пресса [Текст] / А.М. Столин, Л.С. Стельмах // Teoreticheskie osnovy himicheskoj tehnologii. – 2023. – Т. 57, №. 3. – С. 340-345.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ПОРИСТОСТЬ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ОЧЕНЬ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА

Стручкова Н.В., Васильева Е.Д., Стручков Н.Ф., Кычкин А.К.

ИФТПС СО РАН, Якутск, Россия

naryana9944@gmail.com

“RESEARCH OF THE EFFECT ON THE POROSITY OF BASALT-PLASTIC MATERIALS IN VERY COLD CLIMATES”

В данное время активно применяются конструкционные полимерные материалы в промышленности. Соответственно, необходимо чтобы ПКМ дольше сохраняли прочность при долгой эксплуатации [1]. Проводятся различные работы по исследованию прочности ПКМ в условиях экстремально холодного климата [2-3]. Одним из определяющих свойств, влияющих на прочность композита, является пористость.

В данной работе приведены изменения открытой пористости пластиков [4], экспонированных на открытом полигоне ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН г. Якутск в течение 2 лет.

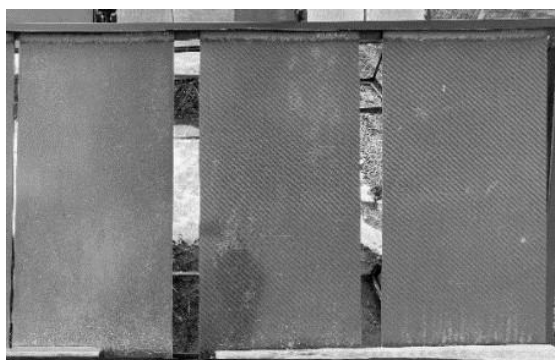


Рисунок 1 – Образцы композиционных пластиков при экспонировании на открытом полигоне ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН

Объектами исследования являются ПКМ из базальтовой ткани марки БТ-11(400) производства ООО «Фабрика технических тканей» и углеродной ткани ТВИЛ 2/2-1000-12к-400 производства АО «Препрег-СКМ», пропитанные связующим из эпоксидной полимерной матрицы ЭД-20 и изометилтетрагидрофталевого ангидрида в качестве отверждающего агента, а также образцы с модифицирующей добавкой диоксида кремния (SiO_2), изготовленные наслаиванием тканей с ориентацией нитей $0/90^\circ$ [4].

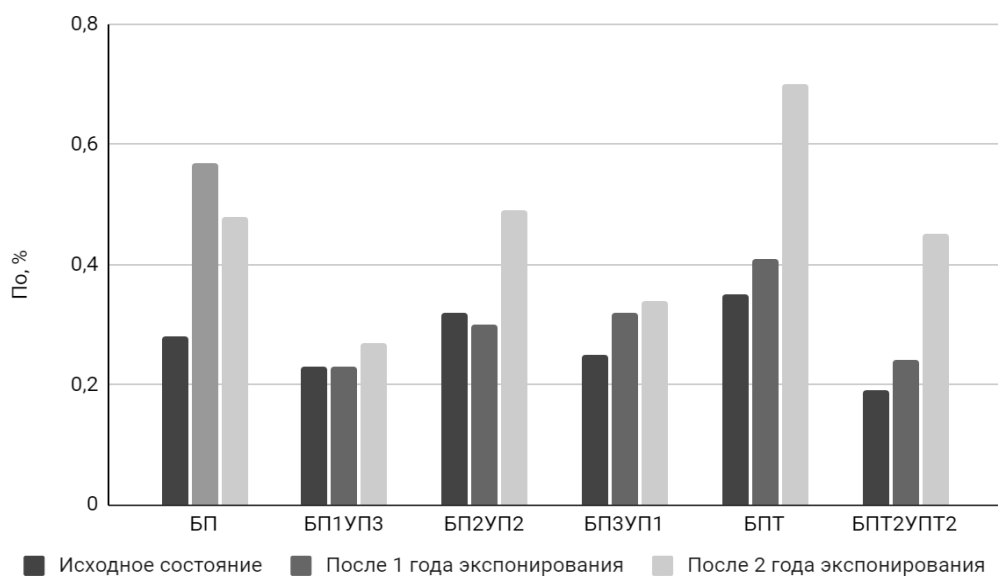


Рисунок 2 – Результаты открытой пористости гибридных композиционных пластиков в исходном состоянии, после 1 года и 2 лет экспонирования

Для определения открытой пористости композиционных пластиков был применен метод гидростатического взвешивания согласно ПНСТ 532-2021 [5]. Были подготовлены образцы размерами 40 x 40 x 5 мм. Для взвешивания применялись электронные аналитические весы с точностью 0,0001 г. Образцы проходили сушку в вакуумном сушильном шкафу при температуре 299°K (26°С) в течение 72 ч.

При взвешивании образцов в жидкости был использован керосин, так как он хорошо проникает в поры образцов. Для расчета открытой пористости применялась следующая формула:

$$P_0 = \frac{(m_2 - m)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100\%,$$

где m_2 – масса пропитанного керосином образца на воздухе, г;

m – масса сухого образца, г;

m_1 – масса пропитанного керосином образца в емкости с керосином, г.

По результатам, приведенным на рис.2 видно, что, если сравнить исходное состояние полимерных композиционных материалов и после 1 года экспонирования у большинства образцов наблюдается повышение значений открытой пористости. Только у марки БП2УП2 уменьшилось значение после 1 года, а БП1УП3 осталось в том же значении, что и в исходном состоянии.

Однако, по истечении 2 лет экспонирования значения всех образцов, помимо БП, увеличились по сравнению с 1 годом. А по сравнению с исходным состоянием открытая пористость у БП увеличилась в 1,7 раз, у БП1УП3 в 1,2 раза, у БП2УП2 в 1,5 раз, у БП3УП1 в 1,36 раз, у БПТ в 2 раза, у БПТ2УПТ2 в 2,4 раза.

Исследования показывают, что при экспонировании в течение 2 лет в условиях очень холодного климата у образцов ПКМ повышаются в среднем до 2 раз значения открытой пористости.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№FWRS-2021-0019).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Каблов, Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года [Текст] / Е.Н. Каблов // *Авиационные материалы и технологии*. – 2012. – Т. 5. – С. 7-17.
2. Борило, Л.П. Получение исходных компонентов и создание композиционных материалов, перспективных для применения в условиях Сибири и Арктики [] / Л.П. Борило, В.К. Иванов, А.С. Бричков, [и др.] // *Сб. тезисов Международной конференции стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных*

систем», г. Санкт-Петербург, 27-31 августа 2018 г. – 2018. – С. 8-10.

3. Лукачевская, И.Г. Оценка начальной стадии климатического старения базальто- и стеклопластиков в условиях экстремально холодного климата [Текст] / И.Г. Лукачевская, А.А. Гаврильева, А.К. Кычкин [и др.] // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2021. – Т. 26, №. 2. – С. 159-169.

4. Кычкин, А.А., Кычкин А.К., Туисов А.Г. Создание гибридных композиционных полимерных материалов для исследования взаимосвязей "состав-структура-технология" при длительном воздействии климатических факторов [Текст] / А.А. Кычкин, А.К. Кычкин, А.Г. Туисов // EURASTRENCOLD-2022: Сборник трудов X Евразийского симпозиума по проблемам прочности и ресурса в условиях климатически низких температур, посвященный 100-летию образования ЯАССР и 300-летию Российской Академии наук, Якутск, 12–16 сентября 2022 года / Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН. – Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2022. – С. 250-257.

5. Предварительный национальный стандарт ПНСТ 532-2021 "Системы космические. Композиты углерод-углеродные и керамоматричные. Определение кажущейся плотности и открытой пористости" (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 февраля 2021 г. N 13-пнст).

СРАВНЕНИЕ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО ОРГАНОСИЛИКАТНОГО ПОКРЫТИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОБЩЕКЛИМАТИЧЕСКОМ ИСПОЛНЕНИИ

Хамидулин Я.А.^{1,2}, Красильникова Л.Н.¹, Вошиков В.И.¹, Васильева Е.Д.³, Кычкин А.К.³, Нгуен Ван Чи⁴, Шилова О.А.^{1,2}

¹ИХС РАН, Санкт-Петербург, Россия; ²СПбГТИ, Санкт-Петербург, Россия; ³ИФТПС СО РАН, Якутск, Россия; ⁴Приморское отделение, Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр

varikh2001@mail.ru

“COMPARISON OF PROTECTIVE AND DECORATIVE PROPERTIES OF MODIFIED ORGANOSILICATE COATING INTENDED FOR OPERATION IN GENERAL CLIMATE DESIGN”

Для защиты конструкций из композитных материалов от воздействия окружающей среды в условиях умеренного и умеренно холодного климатов успешно применяются органосиликатные покрытия (ОСП). Однако в связи с расширением географии эксплуатации изделий из стали, сплавов и композитных материалов, нередко приходится иметь дело с агрессивными условиями как очень холодного, так и тропического климатов. Поэтому возникает потребность проводить натурные испытания покрытий на территориях с соответствующими погодными условиями. Основными функциями ОСП, эксплуатируемого в таких сложных условиях являются их хладостойкость, влагонепроницаемость и стойкость к воздействию солнечной радиации и УФ-излучения. Для снижения водопоглощения покрытия, органосиликатная композиция (ОСК) была модифицирована эпоксидной смолой [1]. Однако было не ясно, насколько покрытие, основанное на полимерной системе «полиорганосилоксаны-эпоксидная смола», способно выдержать солнечную радиацию высокой интенсивности, экстремальные температуры воздуха (от -50°C до 40°C) и повышенную влажность.

Целью исследования являлось изучение и сравнение защитных свойств органосиликатного покрытия, модифицированного эпоксидной смолой, по результатам натурных испытаний на климатических станциях в условиях как тропического, так и очень холодного климатов.

Объектом исследования было ОСП, синтезированное из полидиметилфенилсилоксана (ПДМФС) в качестве пленкообразователя. В качестве наполнителей были использованы слоистый гидросиликат тальк и пигмент оксид титана. ОСК была модифицирована эпоксидной смолой YD-128 (20 % масс. по отношению к связующему) и полидиметилсилоксаном (17 % масс. относительно ПДМФС).

Натурные испытания в тропических условиях проводились на базе Российско-Вьетнамского научно-исследовательского и технологического тропического центра в Южном отделении (г. Хошимин, КИС Кон Зо). Разработанное покрытие было нанесено на подложки из стали 08пс и установлено на бетонных площадках под открытым небом.

В очень холодном климате испытания проводились на территории климатической станции Института физико-технических проблем Севера СО РАН (г. Якутск, республика Саха). Экспонировались образцы с покрытием на подложках из стекло- и углепластиков.

Срок экспозиции в разных климатических условиях составил 8 месяцев. Оценка защитных свойств проводилась визуально на наличие видимых дефектов ОСП по ГОСТ 9.407. Результаты испытаний представлены на рисунке 1.

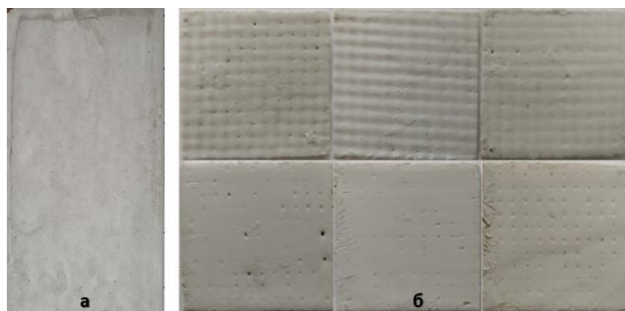


Рисунок 1. Образцы с модифицированным покрытием за 8 месяцев экспозиции
а – тропический климат (г. Хошимин); б – очень холодный климат (Якутск, республика Саха).

По данным испытаний в тропических условиях, за время экспозиции на покрытия отсутствуют существенные дефекты – растрескивание, точки коррозии, пузырение, отслаивание, меление. Однако, отмечено незначительное изменение оттенка покрытия и грязеудержание. Состояние покрытия оценивается в баллах: АЗ - 1, АД – 4 (грязеудержание).

По результатам натурных испытаний в условиях очень холодного климата на некоторых образцах со стороны, куда попадали осадки и солнечное облучение, началось растрескивание покрытия, стал просвечивать предыдущий слой, появилось отслоение. Защитные (АЗ) и декоративные (АД) свойства покрытия по ГОСТ составили 3 балла.

Таким образом, можно сказать что разработанное ОСП обладает удовлетворительными декоративными свойствами как в условиях тропического, так и очень холодного климатов. Лучше защитные свойства покрытия за одинаковый период экспозиции проявили образцы, находящиеся в тропическом климате (АЗ-1) в сравнении с очень холодным (АЗ-4).

В настоящее время натурные испытания ОСП продолжаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хамидулин, Я.А., Красильникова Л.Н., Шилова О.А. Влияние функциональных добавок на свойства органосиликатных покрытий [Текст] / Я.А. Хамидулин, Л.Н. Красильникова, О.А. Шилова // Научная школа-конференция с международным участием для молодых ученых «Функциональные стекла и стеклообразные материалы: Синтез. Структура. Свойства» GlassSPSchool, СПб: ООО Издательство «ЛЕМА». – 2022. – С. 143-144.

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ СВМПЭ НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ МОРОЗОСТОЙКОЙ РЕЗИНЫ

Шкалей И.В.¹, Торская Е.В.¹, Дьяконов А.А.²

¹ИИПМех РАН, Москва, Россия; ²СВФУ, Якутск, Россия

ioann_shiva@list.ru

“TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF UHMWPE COATINGS ON FROST-RESISTANT RUBBER
SUBSTRATE”

При длительном воздействии отрицательных температур нередко происходят случаи отказа техники из-за узлов трения, изготовленных из высокоэластичных материалов, в частности, уплотнений, которые необходимы для герметизации и поглощения вибраций различной природы (в том числе, возникающих при трении). Для увеличения их ресурса предлагается использование двухслойных материалов – морозостойкие резины с покрытием из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). К подобным материалам помимо способности выдерживать большие изгибные деформации и высокой степени сцепления на границе раздела предъявляются высокие требования по антифрикционным свойствам и износостойкости. Целью данной работы является экспериментальное исследование трибологических характеристик покрытий СВМПЭ на подложке из морозостойкой резины.

Объектами исследования являются покрытия СВМПЭ толщиной 0,8 мм и 60 мкм на подложке из

резины БНКС-18. Для сравнения имеются «чистые» материалы СВМПЭ и резины. Заготовки представляют собой пластины толщиной несколько миллиметров. Испытания на износ проводились на трибометре Т-10 в режиме однонаправленного скольжения шарика по кругу диаметром 32 мм при линейной скорости 0,1 м/с и нагрузке 20 Н; общая дистанция составила 2000 м (почти 20 тыс. циклов нагружения). Использовался стальной шарик (ШХ15, твердость порядка 61-64 HRC) диаметром 10 мм. Заметим, что для получения достоверного результата стандартные нагрузка и дистанция были увеличены в 2 раза. Остальные условия испытаний соответствовали стандарту. Для статистики выполнено по 3 теста. По данным прибора оценивался коэффициент трения (КТ), а износостойкость – с помощью оптического конфокального микроскопа Sensofar по глубине и ширине дорожки трения.

Полученные результаты показывают, что для чистого СВМПЭ КТ равен 0,11. При увеличении линейной скорости скольжения до 0,6 м/с установлен небольшой рост КТ до 0,13. Для покрытия толщиной 0,8 мм КТ также равен 0,11, а для тонкого покрытия средний КТ за время испытания составил 0,17. Эффект увеличения силы трения при уменьшении толщины покрытия, вероятно, обусловлен влиянием реологических свойств резины, которые в несколько раз выше, чем у СВМПЭ. Для чистой резины, равно как и для несплошного тонкого покрытия, коэффициент трения может достигать 0,5. Здесь адгезионная составляющая является основной причиной возникновения фрикционных сил.

Чистый СВМПЭ в процессе испытаний изнашивается на глубину 4,7 мкм при ширине дорожки 640 мкм. Изменение скорости скольжения в диапазоне 0,1-0,6 м/с не влияет на степень изнашиваемости. Для покрытия толщиной 0,8 мм глубина дорожки трения составила 4,5 мкм, что аналогично результату для чистого СВМПЭ. При этом ширина трека составила 770 мкм, что обусловлено влиянием существенно более податливой подложки. Стоит отметить, что по поперечному профилю дорожек трения имеются небольшие выступы по краям, характерные для пластического оттеснения материала в процессе трения. Это говорит о сложном упругопластическом поведении материала СВМПЭ в процессе трения. Топография поверхности тонкого покрытия не позволяет достоверно установить износ по глубине, но хорошо прослеживается ширина контакта. Визуально дорожки трения имеют сглаженную поверхность; их ширина, 2,7 мм, демонстрирует, что распределение контактного давления обусловлено, большей частью, свойствами резины.

Таким образом, СВМПЭ покрытия являются износостойкими и антифрикционными, при этом композит тонкое покрытие – резина имеет практически ту же податливость, что резина без покрытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 23-19-00484).

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА И МОНТМОРИЛЛОНИТА

Оконешникова А.В., Данилова С.Н.

СВФУ, Якутск, Россия

anasema2003@mail.ru

**“POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON ULTRA-HIGH MOLECULAR POLYETHYLENE
AND MONTMORILLONITE”**

Ввиду эксплуатации техники и технологического оборудования в регионах Арктики, Сибири, Дальнего Востока, и в особенности Республики Саха (Якутия), в связи с уникальными климатическими условиями существует необходимость в износостойких материалах, способных выдерживать экстремально низкие температуры. Одной из перспективных матриц для изготовления полимерных композиционных материалов (ПКМ) является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), характеризующийся сохранением относительно высокой ударной вязкости и ударостойкости при низких температурах [1]. Для улучшения свойств полимера добавляют слоистые силикаты, так монтмориллонит является одним из наиболее часто используемых силикатов для модификации полимерных матриц [2].

Целью работы является исследование влияние органомодифицированного монтмориллонита на свойства и структуру сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

В качестве полимерной матрицы был выбран СВМПЭ марки GUR-4150, производства фирмы «Celanese» с молекулярной массой $8,7 \cdot 10^6$ г/моль. В качестве наполнителя использовали монтмориллонит марки 1P3 производства «МЕТАКЛЭЙ» (Россия), органомодифицированный четвертичными солями аммония и резорцинольной смолой. Образцы ПКМ получены методом

горячего прессования при температуре 175°C и давлении 10 МПа [3]. Микроструктуру низкотемпературных сколов исследовали на растровом электронном микроскопе JSM- 7800F (JEOL, Япония). Физико-механические испытания проводили на универсальной разрывной машине Autograph AGS-J при скорости движения траверсов 50 мм/мин. Трибологические свойства исследованы с помощью трибометра CETR UMT-3 по схеме трения «палец-диск».

На рис. 1 показано, что введение оММТ в полимерную матрицу приводит к формированию мелких сферолитов радиального типа, размеры которых уменьшаются с увеличением содержания наполнителя. При этом частицы монтмориллонита выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации.

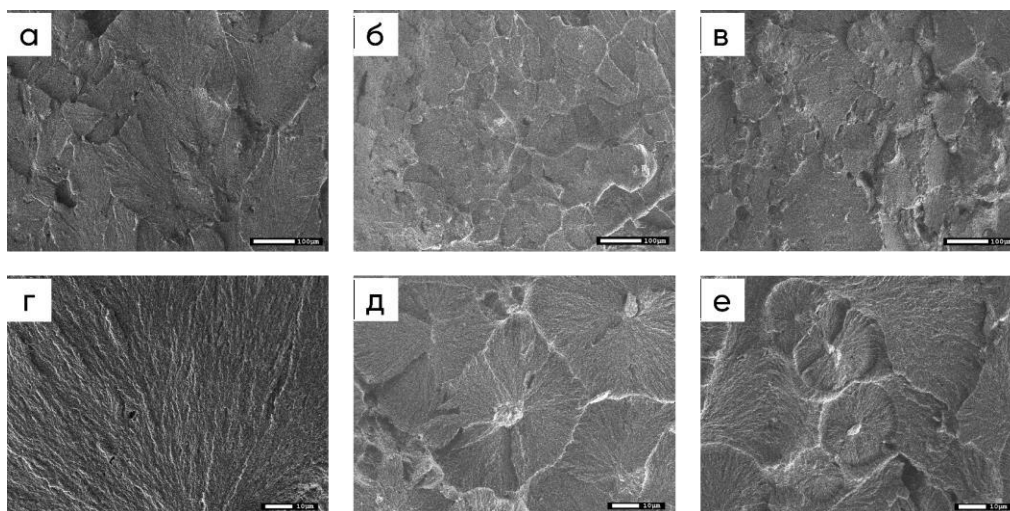


Рисунок 1 – Микрофотографии надмолекулярных структур образцов:
 а) исх. СВМПЭ, x150; б) СВМПЭ/0,5% оММТ, x150; в) СВМПЭ/1% оММТ, x150;
 г) исх. СВМПЭ, x1000; д) СВМПЭ/0,5% оММТ, x1000; е) СВМПЭ/1% оММТ, x1000.

Результаты исследования физико-механических и трибологических свойств полимерных композитов в зависимости от содержания наполнителя представлены в таблице 1.

По результатам исследований установлено, что введение оММТ в матрицу СВМПЭ приводит к увеличению значений модуля упругости на 7 % (при 1 мас.% оММТ). Кроме того, наблюдается значительное улучшение трибологических свойств: при наполнении матрицы 0,5 мас.% оММТ наблюдается снижение линейного износа в 6,5 раза и скорости массового изнашивания в 4,5 раза относительно исходного СВМПЭ. Предполагается, что органомодификатор ММТ может облегчать процессы скольжения при трении, что резко снижает сдвиговые деформации [4].

Таблица 1 – Результаты исследований физико-механических и трибологических свойств.

Образец	ϵ , %	σ , МПа	E, МПа	f	L, мм	I, мг/ч
СВМПЭ исх.	353±19	40±3	431±28	0,41±0,02	0,13±0,02	0,14±0,01
СВМПЭ + 0.5% ММТ	296±16	34±1	443±25	0,41±0,01	0,02±0,01	0,03±0,01
СВМПЭ + 1% ММТ	304±5	34±1	461±15	0,42±0,01	0,07±0,02	0,09±0,02

Примечание: ϵ - относительное удлинение при разрыве, %; σ - предел прочности при растяжении, МПа; E - модуль упругости, МПа; f - коэффициент трения; L - линейный износ, мм; I - скорость массового изнашивания, мг/ч.

Таким образом, введение меньших концентраций оММТ приводит к формированию мелкосферолитной надмолекулярной структуры. Также наблюдается улучшение трибологических свойств при введении 0,5% оММТ в полимерную матрицу.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Охлопкова А.А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Галибеев, С.С. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен. Тенденции и перспективы [Текст] / С.С. Галибеев, Р.З. Хайруллин, В.П. Архиреев // Вестник Казанского технологического университета. – 2008. – №. 2. – С. 50-55.

Чвалун С.Н. Полимер-силикатные наноккомпозиты: физико-химические аспекты синтеза полимеризацией [Текст] / Чвалун С.Н., Новокшопова Л.А., Коробко А.П., Бревнов П.Н. // Российский химический журнал. – 2008. – Т. 52, №. 5. – С. – 52-57.

Дорофеев, Ю.Г. Технологии горячего прессования и деформирования порошковых заготовок [Текст] / Ю.Г. Дорофеев, В.Ю. Дорофеев // 50 лет порошковой металлургии Беларуси: История, достижения, перспективы. – 2010. – С. 85.

Лазарева, Н.Н. Разработка триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена и механоактивированных слоистых силикатов [Текст]: дисс. ... канд. тех. наук.: 05.17.06. защищена 18.12.2019 / Лазарева Надежда Николаевна. – Казань, 2019. – 173 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКСИДОВ ЦИНКА, СВИНЦА И КАДМИЯ НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Аммосов С.С.¹, Дьяконов А.А.^{1,2}

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИФТПС СО РАН, Якутск, Россия

amosov.san@gmail.com

“STUDY OF THE INFLUENCE OF ZINC, LEAD AND CADMIUM OXIDES ON THE ELASTIC-STRENGTH PROPERTIES OF NITRILE BUTADIENE ELASTOMERS”

Актуальность данной работы обуславливается отсутствием подробных сведений об исследованиях влияния технологически активных добавок на свойства резиновой смеси. Технологически активные добавки представляют собой химические вещества в небольших количествах, повышающие ряд эксплуатационных свойств резин. Данные добавки существенно влияют на процесс изготовления и переработки резиновых смесей, также они участвуют в вулканизации эластомеров, улучшая диспергирование и равномерное распределение труднорастворимых порошкообразных компонентов вулканизирующей группы, способствуют регулированию межфазных взаимодействий на границе раздела фаз. Помимо технологически активных добавок основными ингредиентами резиновой смеси являются различные каучуки, активные наполнители, вулканизирующие агенты, активаторы, ускорители вулканизации, противостарители, стабилизаторы, ингибиторы, антиоксиданты, смягчители и т. д. [1]. В основном активаторы вулканизации бывают неорганические и органические, наиболее распространены в использовании оксид цинка в сочетании с жирными кислотами. Целью работы является исследование влияния различных активаторов вулканизации на свойства бутадиен-нитрильных эластомеров [2, 3].

В работе приводятся результаты исследования влияния технологически активных добавок ZnO (ГОСТ 10262-73), PbO (ТУ 6-09-994-64), CdO (ГОСТ 11120-75) на физико-механические свойства резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука марки БНКС-18 АМН с содержанием 17-20% нитрила акриловой кислоты («Красноярский завод СК», Россия). Рецептуры исследуемых резиновых смесей и время введения ингредиентов представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Рецептуры и карта смешения резиновой смеси на основе каучука БНКС-18 АМН

№	Ингредиенты	Масс.ч.				Время введения, мин.
		1	2	3	4	
1	БНКС-18 АМН	100,0	100,0	100,0	100,0	0
2	Стеариновая кислота	2,0	2,0	2,0	2,0	0
3	Технический углерод N550	50,0	50,0	50,0	50,0	2
4	ZnO	-	5,0	-	-	5
	PbO	-	-	5,0	-	
	CdO	-	-	-	5,0	
5	Каптакс	1,5	1,5	1,5	1,5	10
6	Сера	2,0	2,0	2,0	2,0	14
	Итого	155,5	160,5	160,5	160,5	20

Изготовление резиновых смесей производилось в смесителе закрытого типа марки Plastograph EC Plus (Brabender, Германия) в течение 20 мин при начальной температуре валков 40 °С и скорости вращения 20 об/мин. Вулканизация резиновых смесей осуществлялась в термогидравлическом прессе

GT-7014-H10C (Gotech Testing Machines Inc, Китай) при температуре 155 °С в течение 20 мин под давлением 10 МПа. Определение физико-механических свойств композиционных материалов проводилось при комнатной температуре на разрывной машине Autograph AGS-J («Shimadzu», Япония) в соответствии с ISO 37-2020.

На рис. 1 представлены результаты испытания предела прочности и относительного удлинения при разрыве эластомерных образцов с различным содержанием оксидов.

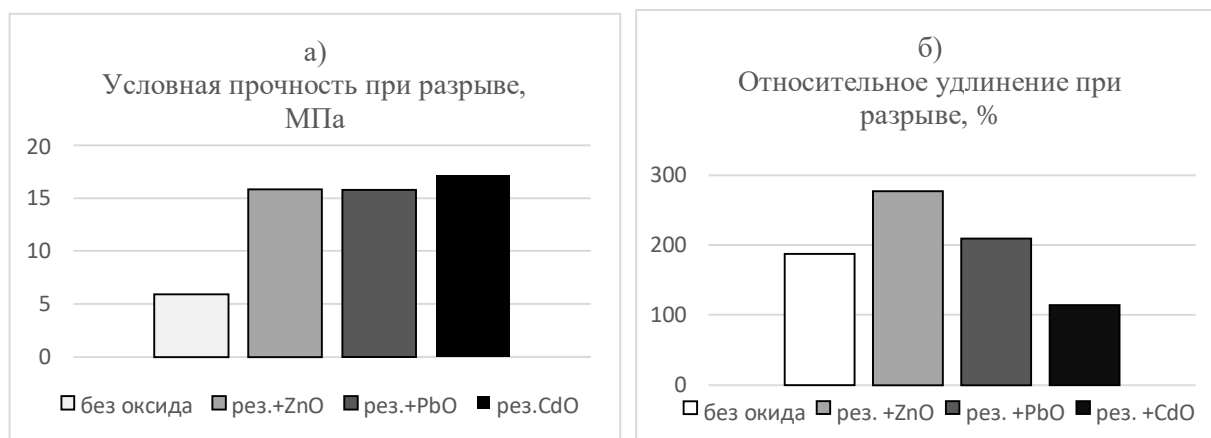


Рисунок 1 – Диаграммы результатов испытаний условной прочности (а) и относительного удлинения (б) при разрыве

На диаграмме видно, что добавление оксидов металлов приводит к повышению прочностных свойств эластомерных образцов. Наибольшей прочностью обладает эластомер с оксидом кадмия, которая составляет 17,2 МПа. Предположительно введение CdO в резиновую смесь способствует более интенсивному образованию поперечных связей между макромолекулами каучука. Внедрение оксида цинка и оксида свинца примерно одинаково влияет на прочностные свойства эластомера, прирост прочностных свойств с добавлением оксида цинка составил 15,8 МПа, а добавление оксида свинца 15,7 МПа.

Также добавление оксидов металлов в резиновую смесь оказывает влияние на относительное удлинение резины. Наибольшим показателем относительного удлинения обладает образец, содержащий в своем составе оксид цинка - 277%, образец с оксидом свинца имеет показатель 209%, у образца без оксида 187%. Введения оксида кадмия в резину приводит к снижению относительного удлинения. Наименьшим показателем удлинения обладает образец, содержащий оксид кадмия приводит к снижению относительного удлинения резины и составляет 114%, предположительно снижение происходит из-за образования большего количества поперечных связей между макромолекулами каучука, которые препятствуют удлинению.

Введение оксидов цинка, свинца и кадмия в резиновую смесь приводит к повышению условной прочности. Добавление оксида кадмия максимально повышает условную прочность эластомера в сравнении с другими образцами, но наблюдается снижение относительного удлинения, предположительно из-за увеличения количества поперечных связей между макромолекулами каучука. Резиновая смесь, не содержащая оксидов, характеризуется низкой прочностью на разрыв вследствие недовулканизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № FSRG-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнев, А.Е. Технология эластомерных материалов [Текст] / А.Е. Корнев, А.М. Буканов, О.Н. Швердяев. – М.: Истек, 2009. – 502с.
2. Дик, Д.С. Технология резины: рецептуростроение и испытания [Текст] / Д.С. Дик. – СПб: Научные основы и технологии, 2010. – 620 с.
3. Гришин, Б.С. Применение поверхностно-активных веществ для улучшения перерабатываемости резиновых смесей [Текст] / Б.С. Гришин, Е.А. Ельшевская, Т.И. Писаренко. – Москва: ЦНИИТЭнефтехим, 1987. – 56 с.

ВЛИЯНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Горохова С.В., Ушканов А.А.

СВФУ, Якутск, Россия

saxayag0roxova@mail.ru

“INFLUENCE OF FIBROUS FILLERS ON THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE”

Из литературных источников [1-2] известно достаточное количество сведений о классификации базальтовых пород, а также опыт компаний по обследованию месторождений базальта. Согласно результатам исследования [3], проведенный Центром исследования КМ им. Фраунгофера (Канада), было установлено, что характеристики ПКМ с базальтовыми волокнами занимают промежуточное положение между композитами из стекло- и углеродных волокон. Базальт является относительно недавним материалом в волоконной и конструкционной композитной промышленности, но тем не менее предполагается, что факторы, как экологическая безопасность, низкая стоимость, высокая механическая и химическая прочность, ускорят скорость проникания данного материала в мировую промышленность. Запасы практически неисчерпаемы, а процесс производства не требует введения дополнительных компонентов. Согласно результатам исследования Охлопковой А.А. и соавторов из работ [4-5] установлено, что активация базальтовых волокон приводит к повышению показателей физико-механических параметров. Таким образом, разработка базальтоволокнистых ПКМ требует детального изучения их поведения с различным содержанием волокон, методами обработки.

Целью работы является разработка композитов на основе политетрафторэтилена, армированные углеродными и базальтовыми волокнами, и исследовать их свойства.

Объектами исследования служили ПТФЭ, и композиты на его основе, содержащие в качестве наполнителей базальтовые и углеродные волокна. Подготовка компонентов заключалась в сушке, затем ПКМ для испытаний получали сухим смешением компонентов с последующим холодным прессованием для их формования, после чего заготовки спекали в муфельной печи и калибровали для корректировки формы образцов и устранения последствий термической усадки.

Механические испытания ПКМ осуществлялись при комнатной температуре на универсальной испытательной машине «Autograph AGS-J» фирмы Shimadzu (Япония) по ГОСТ 4651-2014 и ГОСТ 11262-2017. Процент отклонения до ± 10 %.

Трибологические параметры определяли на универсальном трибометре «СЕТР УМТ-3» (США) в течение 3 ч. по схеме трения «палец-диск», где «диск»-контртело, его угловая скорость вращения диска 96 об/мин, а «палец» – неподвижен и находится под нагрузкой 160 Н. Коэффициент трения определяли по ГОСТ 11629-2017, а износостойкость по потере массы в единицу времени.

Надмолекулярную структуру и поверхность трения композитов на основе ПТФЭ исследовали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) «JSM-7800F» марки JEOL (Япония). Данный анализ ПКМ позволяет понять их надмолекулярную организацию и морфологию поведения материалов в процессе трения.

Метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) «DSC 204 F1 Phoenix» компании NETZSCH (Германия) применяли для оценки физико-химического взаимодействия компонентов ПКМ. Измерения проводятся при постепенном повышении температуры с заданной скоростью равной 20 К/мин.

На основании полученных результатов исследований установлено, что введение углеродных и базальтовых волокон благоприятно влияют на улучшение механических и трибологических свойств ПКМ. Обнаружено, что надмолекулярная структура ПТФЭ при введении волокон сопровождается трансформацией. Выявлено, что в процессе трения волокна локализуются на поверхности трения, предохраняя материал от изнашивания. Методами дифференциальной сканирующей калориметрии и ИК-спектроскопии зарегистрировано увеличение термодинамических параметров и протекание трибохимических реакций на поверхностях трения композитов.

Научный руководитель – в.н.с.–зав. лаборатории «Технологии полимерных нанокомпозитов» им. доцента С.А. Слепцовой, к.т.н. Лазарева Надежда Николаевна

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № FSRG-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Оснос, М.С. Проведение исследований и выбор месторождений базальтовых пород для производства непрерывных волокон [Текст] / М.С. Оснос. С.П. Оснос // Композитный мир. – 2018. – №. 1. – С. 56-62.
2. Оснос, М.С. Базальтовое непрерывное волокно — вчера, сегодня и завтра [Текст] / М.С. Оснос. С.П. Оснос // Композитный мир. – 2015. – №. 2. – С. 32-37.
3. Swente, I. Comparison of Basalt, Glass, and Carbon Fiber Composites using the High Pressure Resin Transfer Molding Process [Text] / I. Swente, J. Thompson, G. Meirson, V. Ugresic, F Henning // Western University Canada in cooperation with Fraunhofer
4. Охлопкова, А.А. Разработка полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и базальтового волокна [Текст] / А.А. Охлопкова, С.В. Васильев, О.В. Гоголева // Нефтегазовое дело. – 2011. – №. 6. – С. 404-409.
5. Охлопкова, А.А. Исследование влияния базальтового волокна на физико-механические и триботехнические характеристики композитов на основе политетрафторэтилена [Текст] / А.А. Охлопкова, С.В. Васильев, О.В. Гоголева // Арктика. XXI век. Технические науки. – 2014. – №. 1(2). – С. 11-19.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЛЛАСТОНИТА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПТФЭ
Осипова В.Н.¹, Тарасова П.Н.¹, Ярусова С.Б.², Данилова С.Н.¹, Лазарева Н.Н.¹, Гордиенко П.С.²
¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИХ ДВО РАН, Владивосток, Россия

valeriaosipova2041@mail.com

“INFLUENCE OF VOLLASTONITE ON THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF PTFE”

В настоящее время наблюдается высокий интерес к освоению регионов Арктики, что влечет за собой значительный спрос по созданию морозостойких полимерных композиционных материалов (ПКМ) триботехнического назначения. Политетрафторэтилен (ПТФЭ) обладает комплексом уникальных свойств, включая термостойкость и морозостойкость, которые могут найти применение во многих высокотехнологичных областях промышленности. Основным преимуществом ПТФЭ перед другими полимерными материалами является его способность функционировать без использования смазочного материала. Однако полимер имеет некоторые недостатки, такие как низкая износостойкость и способность деформироваться в нормальных условиях даже при небольших нагрузках. Реализация значительного повышения износостойкости при сохранении высоких деформационно-прочностных свойств ПТФЭ возможна при введении различных модификаторов в полимер, в том числе минеральных и синтетических наполнителей.

Целью работы является исследование влияния волластонита на свойства и структуру политетрафторэтилена.

В качестве основы композита выступает ПТФЭ ПН-90 продукт ОАО «Галоплимер» (г. Кирово-Чипецк). Наполнителями были выбраны природный волластонит CaSiO_3 (Индия) и синтетический волластонит марки SV-137. Деформационно-прочностные характеристики ПТФЭ и ПКМ определяли на универсальной испытательной машине Autograph AGSJ (Shimadzu, Япония). Скорость массового изнашивания, коэффициент трения (ГОСТ 11629–2017) исследовали на универсальном трибометре УМТ-3 (SETR, США). ИК-спектры композитов снимали на ИК-спектрометре с Фурье-преобразованием Varian 7000 FT-IR (США). Спектры получали с помощью приставки НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) в диапазоне 550–4000 см^{-1} . Поверхность трения ПТФЭ и композитов исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-7800F (Jeol, Akishima, Япония).

Исследование триботехнических характеристик ПТФЭ и композитов на его основе показало, что введение наполнителей приводит к значительному повышению износостойкости материалов, при этом наблюдается сохранение и некоторое снижение показателей физико-механических характеристик, что возможно объясняется низкой адгезионной способностью компонентов в системе «полимер-наполнитель». При введении до 20 масс. % природного волластонита в ПТФЭ износостойкость повышается до 342 раз относительно исходного ПТФЭ. А в случае синтетического волластонита износостойкость увеличивается до 306 раз. Повышение значений коэффициента трения возможно объясняется образованием в полимерной матрице сферолитов различных форм и структур, разрушение которых требует больших энергетических затрат, чем разрушение исходного ПТФЭ [1].

Для более детального исследования процессов, протекающих при трении ПКМ, были проведены исследования структуры методами сканирующей электронной микроскопии (рис. 1) и ИК-спектроскопии (рис. 2).

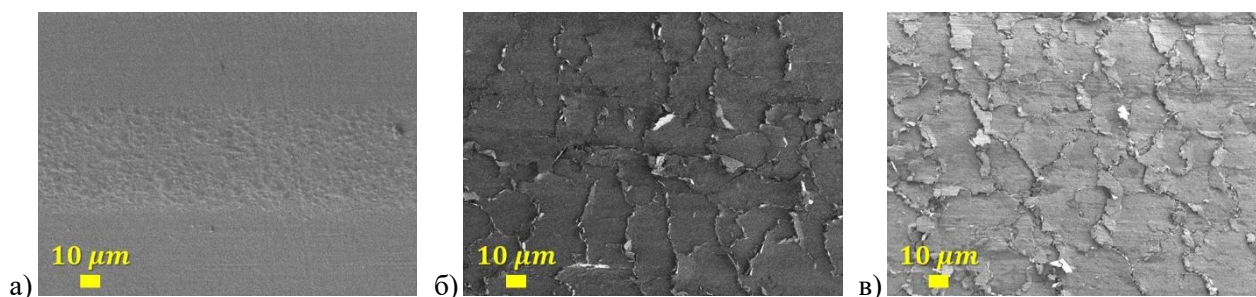


Рисунок 1 – Микрофотографии поверхностей трения ПТФЭ (а) и ПКМ на его основе, содержащих 2 мас. %: б) природного волластонита; в) синтетического волластонита

Из рис. 1 видно, что поверхность трения исходного полимера в отличие от наполненных композитов, имеет гладкую поверхность. Поверхности трения композитов на основе ПТФЭ и волластонитов природного и синтетического происхождения, имеют схожую чешуйчатую поверхность. Основным фактором повышения износостойкости композитов на основе ПТФЭ, наполненного природным и синтетическим волластонитом, является формирование на поверхности трения эффективного по своим триботехническим характеристикам защитного слоя вторичной структуры.

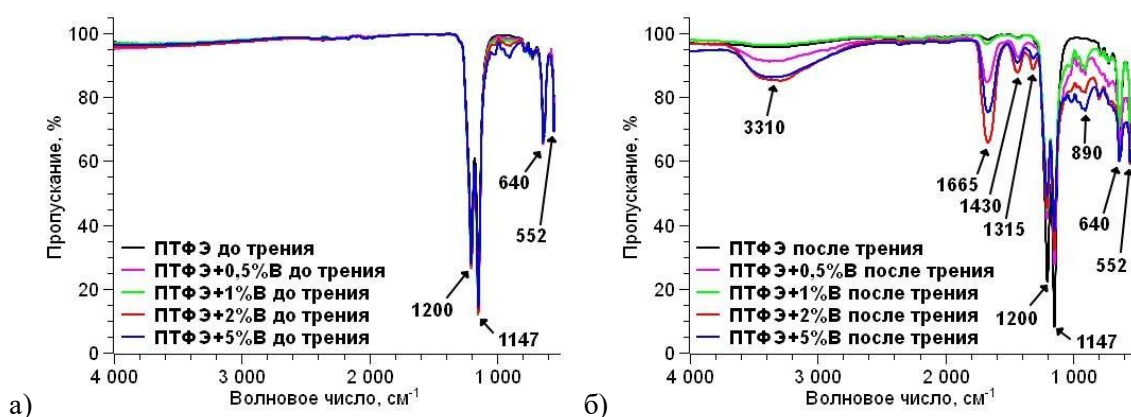


Рисунок 2 – ИК-спектры до (а) и после (б) трения ПТФЭ и ПКМ на его основе, содержащих природный волластонит

Для объяснения протекания трибоокислительных процессов, протекающих при трении композитов проведены исследования поверхностей трения методом ИК-спектроскопии (рисунок 1). До и после трения у композитов выявлены полосы, относящиеся к валентным колебаниям CF_2 -групп (1200 и 1147 см^{-1}). В области ниже 650 см^{-1} располагаются деформационные и внеплоскостные колебания групп CF_2 [2]. После трения обнаружены новые пики в диапазоне 1665 см^{-1} , 1430 см^{-1} , 1315 см^{-1} , которые характерны солям карбоновых кислот ($1680\text{-}1610 \text{ см}^{-1}$ и $1400\text{-}1300 \text{ см}^{-1}$). Они отвечают антисимметричному и симметричному колебаниям двух равноценных связей $\text{C}=\text{O}$. В ходе окислительных процессов образуются продукты окисления, зафиксированные в ИК-спектрах композитов. По этой причине наблюдаются широкие спектры в области 3310 см^{-1} ($3200\text{-}3400 \text{ см}^{-1}$), относящиеся к фрагментам ассоциированных гидроксильных групп [3].

Установлено, что введение наполнителей в ПКМ на основе ПТФЭ значительно способствовало повышению износостойкости. Выявлено формирование защитного слоя вторичной структуры на поверхности трения ПКМ. Методом ИК-спектроскопии зафиксировано, что введение наполнителей способствует интенсификации трибоокислительных процессов в ходе фрикционного взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Слепцова, С.А. Разработка и исследование полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и слоистых силикатов [Текст] / С.А. Слепцова, Ю. В. Кириллина, Н. Н. Лазарева [и др.] // Вестник СВФУ. – 2015. – Т. 50, №. 6. – С. 95-104.
2. Игнатъева, Л.Н. ИК-спектроскопические исследования политетрафторэтилена и его модифицированных форм [Текст] / Л.Н. Игнатъева, В.М. Бузник // Российский химический журнал. – 2008. – Т. ЛП, №. 3. – С. 139-146.
3. Шишелова, Т.И. Практикум по спектроскопии. Вода в минералах: учеб. пособие [Текст] / Т.И. Шишелова, Т.В. Созинова, А.Н. Коновалова – М: Академия естествознания, 2010. – 88 с.

**ВЛИЯНИЕ УСКОРИТЕЛЕЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ НА АДГЕЗИЮ
СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОЙ
РЕЗИНОЙ**

**Дьяконов А.А.¹, Винокуров В.А.¹, Петрова Н.Н.¹, Лазарева Н.Н.¹, Охлопкова А.А.¹,
Торская Е.В.², Морозов А.В.²**

¹СВФУ, г. Якутск, Россия; ²ИПМ РАН, г. Москва, Россия

afonya71185@mail.ru

“INFLUENCE OF VULCANIZATION ACCELERATORS ON THE ADHESION OF ULTRA-HIGH
MOLECULAR POLYETHYLENE WITH NITRILE BUTADIENE RUBBER”

Одним из перспективных направлений по разработке новых композиционных материалов является создание многослойных изделий на основе эластомера и полиэтилена. При разработки различных композитов на основе термодинамически несовместимых полимеров большую актуальность приобретает задача по увлечении адгезии между материалами. Изготовление изделий из резиновой смеси и сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) осуществляется методом горячего прессования в одинаковом температурном диапазоне, что делает возможным их технологическое совмещение. Во время вулканизации резиновых смесей происходит образование трехмерной сетчатой структуры между макромолекулами каучука по разным механизмам в зависимости от применяемой вулканизационной группы [1]. Из работ известно [2], что полиэтилен также может вступать в реакции с серой в присутствии ускорителей вулканизации аминового и тиазольного типов под воздействием температуры. На основе ранних установленных фактов предлагается гипотеза о влиянии класса ускорителей вулканизации на прочность адгезионного соединения между эластомерами и СВМПЭ.

Объектами исследования являются двухслойные композиционные материалы на основе СВМПЭ марки GUR-4022 (Selanese, КНР) с молекулярной массой $5,3 \times 10^6$ г/моль и эластомерами на основе каучука марки БНКС-18 АМН (Сибур, Россия) с содержанием 17-20% нитрила-акриловой кислоты. В работе проверяется влияние 2-меркаптобензотиазола (МБТ), дифенилгуанидина (ДФГ) и сульфенамида Ц (СВС) на упруго-прочностные свойства эластомеров и на адгезию со СВМПЭ. Данная гипотеза может расширить возможности изготовления различных полимерных и резинотехнических изделий на основе комбинации СВМПЭ и эластомера. Ускорители вулканизации вводили в резиновую смесь во время смешения ингредиентов, рецептуры смесей и время их введения приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Рецептуры резиновых смесей на основе каучука БНКС-18 АМН

№	Ингредиенты	Масс.ч.				Время введения, мин
		1	2	3	4	
1	БНКС-18 АМН	100,0	100,0	100,0	100,0	0
2	Стеариновая кислота	1,5	1,5	1,5	1,5	0
3	Технический углерод N550	50,0	50,0	50,0	50,0	2
4	Оксид цинка	5,0	5,0	5,0	5,0	5
5	2-меркаптобензотиазол	1,5	-	-	-	10
6	Сульфенамид Ц	-	1,5	-	1,5	10
7	Дифенилгуанидин	-	-	0,5	0,5	10
8	Сера	2,0	2,0	2,0	2,0	12
	Итого:	160,0	160,0	159,0	160,5	20

Определение физико-механических свойств и адгезии проводилось на универсальной испытательной машине Autograph AGS-JSTD (Shimadzu, Япония). Упруго-прочностные свойства

эластомеров определялись по стандарту ISO 37-2020, адгезионную прочность соединения между СВМПЭ и резинами по ГОСТ 6768-75.

Результаты исследования упруго-прочностных свойств эластомеров приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Упруго-прочностные свойства эластомеров на основе БНКС-18 АМН в зависимости от содержания ускорителей вулканизации

Свойства	Рецептуры			
	1	2	3	4
ε _p , %	309	282	236	154
f _p , МПа	14,2	18,2	10,9	10,7

ε_p, % - относительное удлинение при разрыве; f_p, МПа - условная прочность при удлинении.

Наибольшим удлинением обладает образец, содержащий в вулканизирующей группе МБТ, наименьшим удлинением и прочностью при разрыве обладает эластомер с комбинацией ускорителей вулканизации МБТ+ДФГ. Образец эластомера с CBS в своем составе имеет наибольшую прочность при разрыве, которая составляет 18,2 МПа.

На рис. 1 представлена диаграмма адгезии в зависимости от содержания ускорителей вулканизации тиазольного и аммионого типа в резиновой смеси.

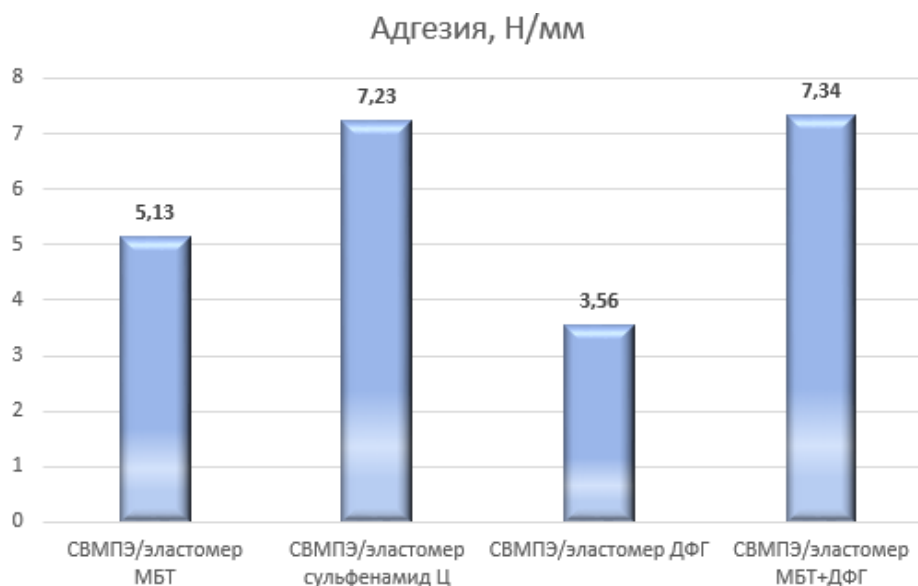


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости прочности адгезионного соединения между СВМПЭ и эластомером в зависимости от типа ускорителей вулканизации

В процессе испытания образцов на расслоение наблюдалось два вида разрушения - адгезионный, разрушение происходило по границе взаимодействия, и когезионный, когда прочность соединения на межфазной границе между материалами превышала прочность эластомера. Наибольшей адгезионной прочностью соединения между слоями эластомера и СВМПЭ обладает композиция, которая содержит в резиновой смеси два ускорителя вулканизации МБТ+ДФГ. Композит, содержащей CBS, обладает прочностью соединения немного меньше, чем у композита с бинарным содержанием ускорителей вулканизации. Наименьшей прочностью соединения обладает образец, в составе которого содержится ДФГ. При испытании на расслоение образцов с CBS и МБТ+ДФГ наблюдается когезионное разрушение, проходящее по эластомеру, у образцов, содержащих МБТ и ДФГ, расслоение носит адгезионный характер и проходит по границе взаимодействия, что указывает на низкую адгезионную прочность.

Применение тиазольного ускорителя вулканизации совместно с амминым приводит к образованию соединения между СВМПЭ и эластомером, превышающего по прочности когезионную прочность эластомера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шашок, Ж.С. Технология эластомерных материалов. Ингредиенты резиновых смесей [Текст] / Ж.С. Шашок, Е.П. Усс. – Минск: БГТУ, 2019. – 111 с.
2. Карасева, Ю.С. Исследование продуктов взаимодействия полиэтилена с серой в качестве вулканизирующих агентов [Текст] / Ю.С. Карасева, Т.В. Башкатова, Е.Н. Черезова, А.Д. Хусаинов // Вестник Казанского технологического университета. – 2006. – №. 5. – С. 57-62.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА НА ОСНОВЕ ШИННОГО РЕГЕНЕРАТА И ВТОРИЧНОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА

Иванов Н.С.¹, Щадрин Н.В.²

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИПНГ СО РАН Якутск, Россия

prosto0.0student@gmail.com

“EXPLORING THE POSSIBILITY OF PRODUCING THERMOPLASTIC ELASTOMER BASED ON TIRE REGENERATE AND SECONDARY POLYPROPYLENE”

В настоящее время существует большое количество способов переработки шин. Основным методом переработки автомобильных шин является получение резиновой крошки и дальнейшее ее использование в виде регенерат в производстве строительных материалов, бытовых изделий и товаров народного потребления. Однако, по сравнению с обычной резиной, регенерат обладает низкими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Поэтому, работы, направленные на улучшение свойств регенерата и поиск новых путей его использования, являются актуальными.

Для улучшения свойств регенерата можно использовать различные добавки. Одним из способов улучшения свойств может стать его смешение с термопластичным полимером, например, с вторичным полипропиленом. Полипропилен при вторичном использовании не теряет своих свойств по сравнению с первичным полипропиленом. На самом деле, повторное использование полипропилена настолько огромное, что в сфере, где используют первичный полипропилен, можно использовать вторичный переработанный, так как они практически не отличаются по свойствам.

В ходе исследования были проведены измерения: твердость по Шору А, объемный износ, предел прочности, относительное удлинение при разрыве эластомеров.

После подготовки всех необходимых материалов приступают к изготовлению образцов.

Для изготовления полипропиленовой стружки, которая нужна для смеси, выбирают полипропиленовые трубы и механическим путем их измельчают до необходимой крошки.

Для исследования были выбраны 5 образцов с 0%, 10%, 20%, 30% и с 40% содержания полипропилена. Вулканизации проходили при 155°C, 160°C и 165°C.

Изготовление резиновой смеси проведено по следующей схеме:

- предварительное смешение резиновой крошки с полипропиленовой крошкой в течение 15 мин на лабораторных вальцах См350 150/150 при температуре 100 °С;
- дальнейшее охлаждение до комнатной температуры;
- смешение полученной композиции на лабораторных вальцах См350 150/150 в течение 5 мин при температуре 25 °С, при котором идет процесс пластикации;
- смешение полученной композиции с серой и альтаксом на лабораторных вальцах См350 150/150 в течение 10 мин при температуре 25 °С;

Вулканизация резиновой смеси проводилась при 155, 160, 165 градусах по 25 минут. Для исследования необходимы резины в виде пластин, для дальнейшего вырезания лопаток, и в виде небольших столбиков для исследования на абразивостойкость.

Прочность при растяжении или предел прочности — это механическое напряжение, измеряемое в паскалях (МПа). Выше этого предела происходит разрушение материала.

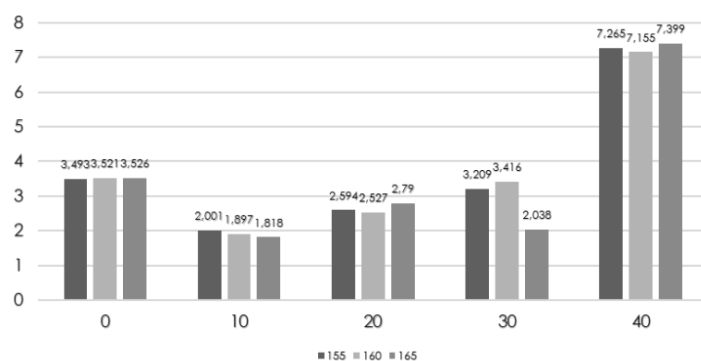


Рисунок 1 – Изменение прочности при растяжении образцов в зависимости от содержания ПП

В итоге, с каждым увеличением количества полипропилена в образцах увеличивает ее прочность. Отсюда следует, что чем больше ПП, тем тверже и прочнее становятся изделия.

Относительное удлинение при разрыве характеризует изменение первоначальной длины при растяжении до момента разрыва.

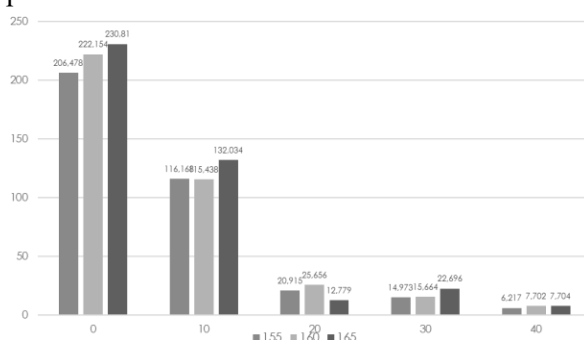


Рисунок 2 – Удлинение при растяжении образцов

Как и ожидалось при увеличении доли ПП в составе, уменьшается её удлинение при растяжении, так как ПП сам по себе не может сильно растягиваться. Уже после добавления 10 м. ч. ПП в состав уменьшает удлинение в 2 раза, с 20 м. ч. уменьшает в 5 раз по сравнению с предыдущими.

Под твердостью по Шору понимается сопротивление материала вдавливанию наконечника определенной формы под действием силы давления пружины.

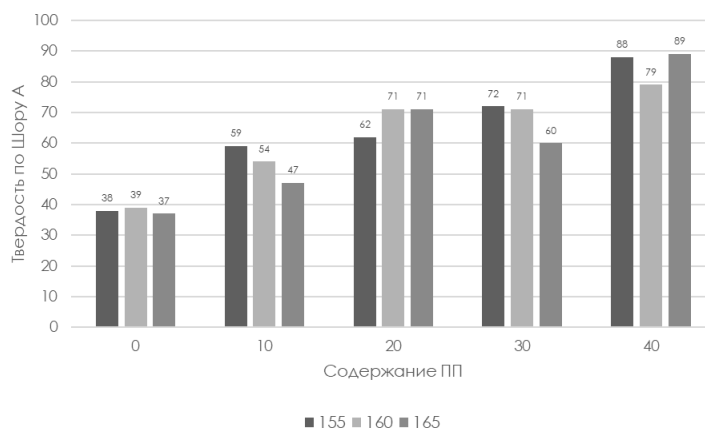


Рисунок 3 – Показатели твердости по Шору А

После проведения измерений можно сделать выводы, что для образцов, вулканизированных при 155 градусах твердость растет по мере добавления ПП. А также для образцов (0), где в составе нет ПП твердость практически не изменяется. А у образцов, вулканизированных при 160 градусах тоже стабильно растет, кроме образца с 20 м. ч. ПП и образца с 30 м. ч. полипропилена, где показатели твердости идентичны друг другу. У измерений, вулканизированных при 165 градусах имеет самый

большой показатель твердости. Показатели твердости для этих образцов тоже показывают рост твердости с увеличением м. ч. ПП. Кроме 4 образца с 30 м. ч. ПП.

Измерение объемного износа происходило на устройстве AP-40

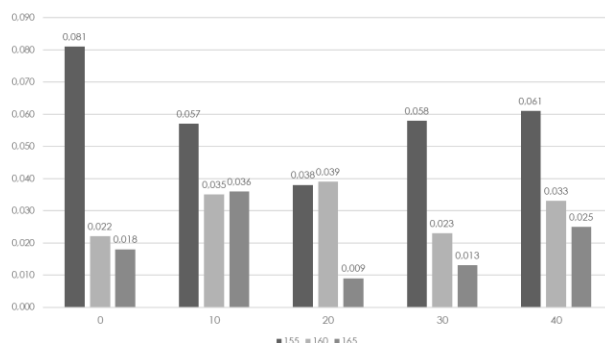


Рисунок 4 – Объемный износ образцов

Показатели износа показывают, что образцы с разными м. ч. ПП и вулканизированные при разных температурах, показывают разные показатели. Наибольшее сопротивление износу показал образец с 20 м. ч. ПП при 165 °С, а наименьшее образец без ПП вулканизированный при 155 °С.

Выражаю благодарность своему научному руководителю Щадринovu Николаю Викторовичу, к.т.н.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С ДОБАВЛЕНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Протопопова М.Ю., Самидинова З.Р., Оконешникова А.В.

СВФУ, Якутск, Россия

prtopopova.milena2006@mail.ru

“WEAR-RESISTANT POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON ULTRA-HIGH MOLECULAR POLYETHYLENE WITH THE ADDED CARBON NANOTUBES”

В настоящее время ведется постоянный поиск новых материалов, отвечающих суровым климатическим условиям Арктической зоны России. Существует проблема эксплуатации техники в регионах с экстремальным климатом и возникает необходимость в новых материалах с улучшенными свойствами для оптимальной работы оборудования. Применение их в ответственных узлах трения позволяет повысить работоспособность и срок службы транспортных средств. Одной из перспективных матриц для изготовления полимерных композиционных материалов (ПКМ) является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) [1].

Целью работы является разработка полимерных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с добавлением одностенных углеродных нанотрубок.

В качестве полимерной матрицы был выбран СВМПЭ марки GUR-4022, производства фирмы «Celanese» с молекулярной массой $5 \cdot 10^6$ г/моль. В качестве наполнителя использовали одностенные углеродные нанотрубки торговой марки TUBALL компании «OCSiAl» (Россия). Образцы ПКМ получены методом горячего прессования при температуре 175°C и давлении 10 МПа. Физико-механические испытания проводили на универсальной разрывной машине Autograph AGS-J при скорости движения траверсов 50 мм/мин. Трибологические свойства исследованы с помощью трибометра CETR UMT-3 по схеме трения «палец-диск».

Результаты исследования физико-механических и трибологических свойств полимерных композитов в зависимости от содержания наполнителя представлены в табл. 1.

По результатам исследований установлено, что введение УНТ в матрицу СВМПЭ приводит к увеличению значений модуля упругости на 18 % (0,1 % УНТ), предела прочности при растяжении на 19 % по сравнению с исходным СВМПЭ (при содержании 1 мас.% УНТ), что обусловлено армирующим воздействием нанотрубок на полимерную матрицу. Кроме того, наблюдается значительное улучшение трибологических свойств: при наполнении матрицы 5 мас.% УНТ наблюдается снижение линейного износа в 6 раз и скорости массового изнашивания в 4 раза относительно исходного СВМПЭ.

Таблица 1. Результаты исследований физико-механических и трибологических свойств.

Образец	ϵ , %	σ , МПа	E, МПа	f	L, мм	I, мг/ч
СВМПЭ <i>исх.</i>	339	32	555	0,38	0,31	0,12
СВМПЭ + 0,1% УНТ	328	36	700	0,41	0,11	0,10
СВМПЭ + 1% УНТ	309	38	774	0,37	0,17	0,14
СВМПЭ + 2% УНТ	319	37	696	0,38	0,11	0,05
СВМПЭ + 5% УНТ	270	36	804	0,40	0,05	0,03

Примечание: ϵ - относительное удлинение при разрыве, %; σ - предел прочности при растяжении, МПа; E - модуль упругости, МПа; f - коэффициент трения; L - линейный износ, мм; I - скорость массового изнашивания, мг/ч.

Таким образом, введение меньших концентраций УНТ приводит к повышению прочностных и трибологических параметров ПКМ.

Научный руководитель – м.н.с. лаборатории «Композиты для Севера» Данилова С.Н.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Галибеев, С.С. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен. Тенденции и перспективы [Текст] / С.С. Галибеев, Р.З. Хайруллин, В.П. Архиреев // Вестник Казанского технологического университета. – 2008. – №. 2. – С. 50-55.

КОМПЬЮТЕРНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ

Люкшин Б.А.^{1,2,3}, Гришаева Н.Ю.², Бочкарева С.А.^{1,2}, Панов И.Л.^{1,2}, Панин С.В.^{1,4}

¹ИФПМ СО РАН, Томск, Россия; ²ТУСУР, Томск, Россия; ³НИ ТГУ, Томск, Россия; ⁴НИ ТПУ, Томск, Россия

lba2008@yandex.ru

“COMPUTER CONSTRUCTION OF POLYMER COMPOSITION USING A TWO-LEVEL MODEL ARTI”

Одним из наиболее широко распространенных полимеров, на основе которого созданы многочисленные наполненные композиции, является политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт).

ПТФЭ, как и большинство полимеров, обладает низкой теплопроводностью [1]. В случаях, когда изделия работают при повышенных температурах, для отвода тепла нужно заметно повысить их теплопроводность. Одним из методов решения данной проблемы является введение наполнителей, прежде всего порошков металлов. При этом увеличение размеров включений ведет к быстрому росту теплопроводности, но деформационно-прочностные свойства ухудшаются. Это связано с тем, что при механических нагрузках включения являются концентраторами напряжений. Всплески напряжений в окрестности включений будут тем больше, чем крупнее армирующие частицы.

Таким образом, возникает проблема поиска некоторого компромисса между повышением теплопроводности композитов за счет армирования и снижением их деформационно-прочностных свойств. В работе предлагается подход к решению этой проблемы, рассмотренный применительно к получению композиции на основе ПТФЭ с повышенной теплопроводностью и при этом приемлемыми деформационно-прочностными характеристиками [2, 3].

Объектом исследования служили композиции на основе политетрафторэтилена (полимер Ф-4; ГОСТ 10007-80), наполненные промышленно выпускаемыми ультрадисперсными порошками меди с размером 1.5 мкм и 60 мкм.

Задача компьютерного конструирования композиции с требуемыми свойствами ставилась следующим образом: найти сочетание управляющих параметров, обеспечивающих максимальное значение коэффициента теплопроводности при ограничениях снизу на предельную деформацию разрушения при растяжении.

Общая схема решения задачи компьютерного конструирования композиции с требуемыми свойствами представлена на рис. 1.

На первом этапе решением прямых задач компьютерного моделирования получают оценки эффективных деформационно-прочностных и теплофизических свойств композиционных материалов.

Для этого вычисляются параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) и коэффициент теплопроводности при внешних силовых и тепловых воздействиях на основе уравнений механики деформируемого твердого тела и решения задач теплопроводности. Варьировали степень наполнения обоими типами частиц меди. Реализация задач проводилась с использованием метода конечных элементов в пакете программ Abaqus CAE.



Рисунок 1 – Общая схема решения задачи компьютерного конструирования полимерной композиции с требуемым комплексом свойств

На втором этапе решаются обратные задачи компьютерного конструирования, которые в общем случае предполагают получение (создание) полимерных композиций с заранее заданными свойствами. Решение этой задачи основано на построении в пространстве состояний поверхностей отклика эффективных характеристик на значения управляющих параметров. Для такого построения используется ряд опорных точек, полученных из решения прямых задач.

Наличие включений с размерами, отличающимися на порядки, усложняет рассмотренный алгоритм при решении прямых задач, так как они решаются на двух структурных уровнях.

Решение прямых задач на первом уровне позволяет получить эффективные свойства композиции на основе ПТФЭ, наполненной частицами наполнителя с размерами 1.5 мкм. На втором уровне этот материал рассматривается как модифицированная матрица, в которую вводится порошок наполнителя с размерами 60 мкм. Решение задачи на этом этапе позволяет получить эффективные свойства наполненной полимерной композиции в целом. Двухуровневый алгоритм решения прямых задач определения эффективных свойств композиций (коэффициентов теплопроводности, модуля упругости и деформации разрушения), представлен на рис. 2.

Расчетные области на первом и втором структурных уровнях показаны на рис. 3.



Рисунок 2 – Многоуровневый алгоритм решения прямых задач для определения эффективных физико-механических свойств наполненных полимерных композитов

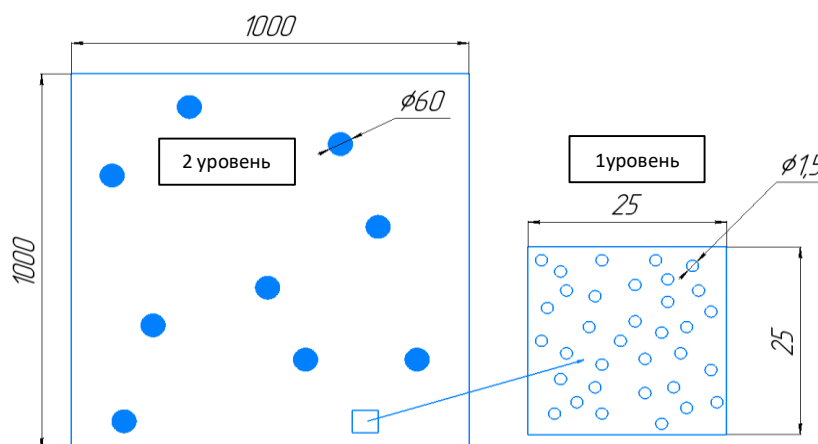


Рисунок 3 – Расчетные области для определения физико-механических свойств на 1-м и 2-м структурных уровнях анализа (размеры указаны в мкм)

Повышение степени наполнения на первом уровне ожидается приводит к росту модуля Юнга и уменьшению средней по расчетной области деформации, соответствующей появлению локальных разрушений. На рис. 4 разрушения в матрице видны в виде горизонтальной трещины (выделено эллиптическим контуром).

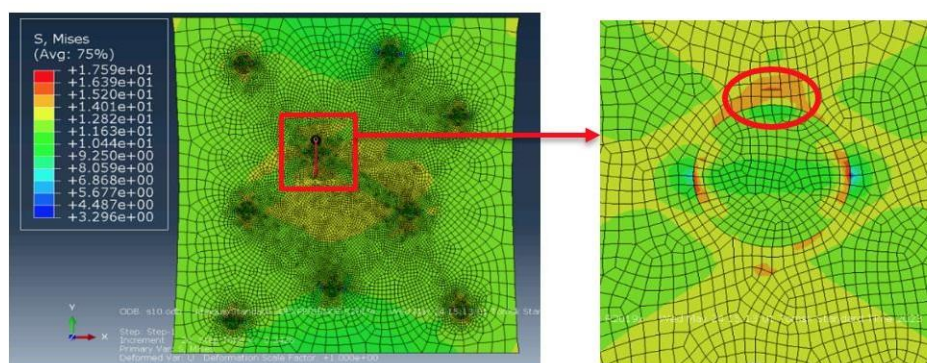


Рисунок 4 – Распределение интенсивности напряжений при растяжении композиции, наполненной мелкими включениями в момент образования трещины, степень наполнения 10 об.%

Свойства, полученные на первом уровне, используются при определении параметров НДС композиции с более крупными включениями 60 мкм на втором структурном уровне, где они принимаются в качестве свойств модифицированной матрицы.

На рис. 5 приведено распределение интенсивности напряжений в расчетной области при одноосном растяжении композиции на втором уровне с образованием трещины при степени наполнения крупными включениями 30 об.%. Внутри эллиптического контура горизонтальный отрезок представляет собой трещину, возникающую при нагружении.

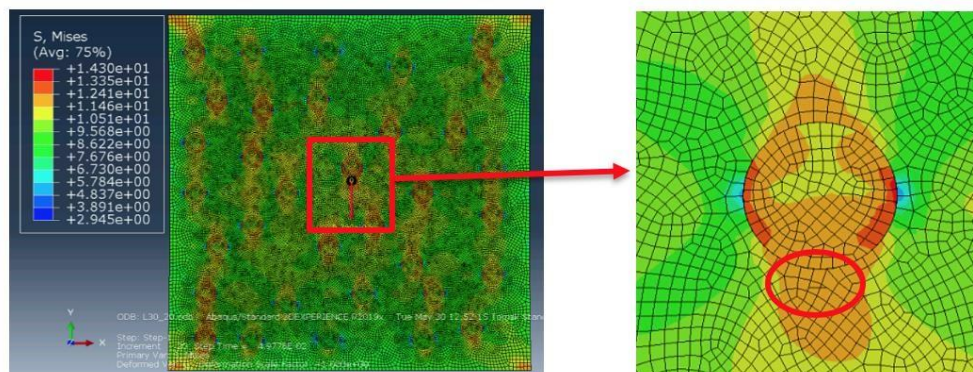


Рисунок 5 – Распределение интенсивности напряжений при одноосном растяжении композиции на втором уровне при образовании трещины, степень наполнения 30 об.%

Подход к определению эффективных теплофизических величин аналогичен способу определения эффективных деформационно-прочностных характеристик. Решается задача теплопроводности применительно к неоднородной расчетной области с учетом конкретных теплофизических характеристик материалов матрицы и включений, в результате находится распределение температуры по расчетной области и коэффициент теплопроводности.

В качестве примера на рис. 6 приведено распределение температуры в композиционном материале, содержащем включения диаметром 60 мкм.

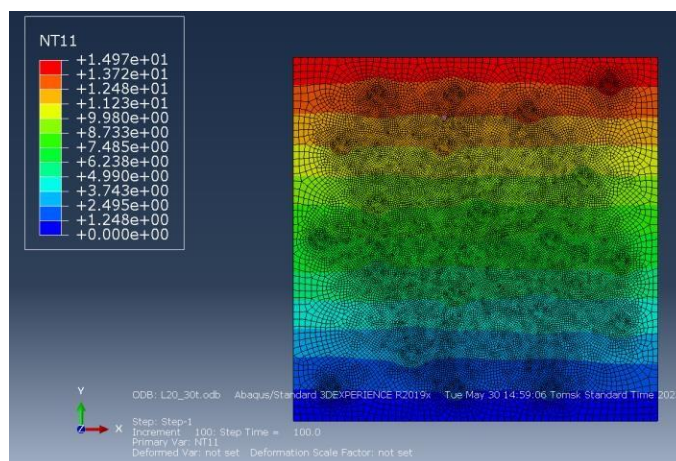


Рисунок 6 – Распределение температуры в полимерном композиционном материале, степень наполнения 20 об.%

Значение коэффициента теплопроводности исходной полимерной матрицы из ПТФЭ принимали равным 0.20 Вт/(м·°C), а полученные результаты свидетельствуют о возможности повысить этот коэффициент вплоть до значения 0.33 Вт/(м·°C), т.е. более чем на 60 %.

Таким образом, использование наполнителей с различными размерами, как предложено и реализовано в работе, позволяет решить задачу – изменения теплофизических свойств в нужную сторону – с минимальной деградацией деформационно-прочностных характеристик полимерных композиций. В силу большого отличия размеров наполнителя был разработан и применен алгоритм с использованием двухуровневой модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ebnesajjad S. Expanded PTFE applications handbook: technology, manufacturing and applications [Text] / S. Ebnesajjad. – William Andrew, 2016 – 300 p.
2. Ashby, M.F. Materials Selection in Mechanical Design, 5th ed. [Text] / M.F. Ashby. – Burlington: Butterworth-Heinemann, 2016. –660 p.
3. Люкшин, Б.А. Компьютерное моделирование и конструирование наполненных композиций / Б.А. Люкшин, С.В. Панин, С.А. Бочкарева, Н.Ю. Гришаева, Л.А. Корниенко, П.А. Люкшин, Н.Ю. Матолыгина, А.И. Реутов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН Наука, 2015, – 264 с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФРИКЦИОННОГО ТЕПЛООБРАЗОВАНИЯ ПО ТЕМПЕРАТУРНЫМ ДАННЫМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА ТРЕНИЯ В ПОДШИПНИКЕ СКОЛЬЖЕНИЯ С ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ВАЛА

Тихонов Р.С., Старостин Н.П.

ФИЦ ЯНЦ СО РАН, ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

roman_tikhon@mail.ru

“RESTORATION OF FRICTIONAL HEAT GENERATION FROM TEMPERATURE DATA TO DETERMINE THE FRICTION TORQUE IN A SLIDING BEARING WITH SWINGING SHAFT MOTION”

Измерение значения момента трения в подвижных цилиндрических сопряжениях выполняется с использованием упругого элемента – торсиона. Размещение его в узлах трения эксплуатируемой техники невозможно ввиду компактности установки элементов. Метод тепловой диагностики трения позволяет получать информацию о моменте трения в узлах трения по температурным данным, наиболее простым для измерения. Метод разработан применительно к сопряжениям «вал- втулка», в котором вал совершает вращательное движение. Метод тепловой диагностики трения реализуется следующим образом: проводятся замеры температур в окрестности зоны трения трибосопряжения и решается обратная задача восстановления удельной интенсивности теплообразования, по которой рассчитывается момент трения. В работе [1] проведены исследования динамики температурного поля в подшипниках скольжения, работающих в возвратно-вращательном режиме. Учет в трехмерной модели амплитуды и частоты качания вала позволил вычислительными экспериментами выявить осциллирующий характер изменения температуры во времени в зоне трения. Основываясь на полученных результатах решения прямой задачи, в данной работе проводится исследование восстановления удельной интенсивности теплообразования по температурным данным путем решения граничной обратной задачи.

В вычислительных экспериментах вал совершал колебательные движения с частотой 1 Гц и амплитудой $7,5^\circ$, шаг по времени определялся из условия Куранта и принимался равным 0,1 с. При решении обратной задачи на каждой итерации необходимо хранить большие массивы данных по времени. Во избежание хранения в оперативной памяти больших массивов выполнено деление полного временного интервала на локальные. Модельные задачи строились следующим образом. По заданной функции удельной интенсивности фрикционного теплообразования $Q_{F(\varphi,t)}$ решением прямой задачи определялось температурное поле вала и подшипника. В окрестности зоны контакта во втулке при некотором радиусе R_f сохранялись значения температур, имитирующих замеры температуры:

$$T_p(R_f, \varphi, z_c, t) = f(\varphi, t), \quad R_1 < R_f < R_2, \quad |\varphi| \leq \varphi_0, \quad z_c = (R_1 + R_2)/2. \quad (1)$$

Обратная задача восстановления удельной интенсивности теплообразования $Q_{F(\varphi,t)}$ по температурным данным (1) решалась методом сопряженных градиентов, который представляет собой итерационный метод минимизации функционала навязки (2) при ограничениях в виде уравнений теплопроводности для вала и подшипника с граничными условиями.

$$J[Q_F(\varphi, t)] = \frac{1}{2} \int_0^{t_m} \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} [T(R_p, \varphi, z_c, t) - f(\varphi, t)]^2 d\varphi dt. \quad (2)$$

Итерационный процесс прекращался по условию [2]:

$$J^k[Q_F(\varphi, t)] \leq \delta^2, \quad (3)$$

где $\delta^2 = \delta_{rand}^2 + \delta_{calc}^2$. Величина δ_{rand}^2 определялась по формуле: $\delta_{rand}^2 = \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} \int_{t_{i-1}}^{t_i} \sigma_{rand}^2 dt d\varphi$, где σ_{rand}^2 дисперсия случайной погрешности замеров температуры. Величина δ_{calc} определялась как ошибка расчета температуры при восстановлении удельной интенсивности теплообразования по точным температурным данным с использованием локальных интервалов. Ошибка δ_{calc} вычислялась для каждого локального интервала, и его значение находилось в интервале [0,01; 0,045].

Итерационный процесс строится следующим образом [3]:

$$\begin{aligned} Q_F^{k+1}(\varphi, t) &= Q_F^k(\varphi, t) - \beta_k S^k(\varphi, t), \quad k = 0, 1, \dots; \\ S^k(\varphi, t) &= J'_F [Q_F^k(\varphi, t)] + \gamma_k S^{k-1}(\varphi, t), \quad \gamma_0 = 0; \\ \beta_k &: J[Q_F^{k+1}(\varphi, t)] = \min J[Q_F^k(\varphi, t) - \beta_k S^k(\varphi, t)]. \end{aligned} \quad (4)$$

Интегрируя найденную функцию по всей поверхности трения, определяется интенсивность теплообразования (мощность трения) $W(t) = R \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} Q_F(\varphi, t) d\varphi$. Момент трения определяется по формуле $M(t) = W(t) / \Omega(t)$.

На рис. 1 представлены трехмерные виды заданной и восстановленной решением обратной задачи функции удельной интенсивности теплообразования $Q_{F(\varphi,t)}$. Для имитации реального измерения температуры на точные данные (1) накладывались погрешности по формуле: $f(\varphi, t) = f(\varphi, t) + \frac{\Delta}{3} \eta$, где η – случайная величина, распределенная по нормальному закону с математическим ожиданием равным нулю и единичной дисперсией, Δ - максимально возможная погрешность. В расчетах максимальный уровень случайной погрешности составлял 0,5 °С.

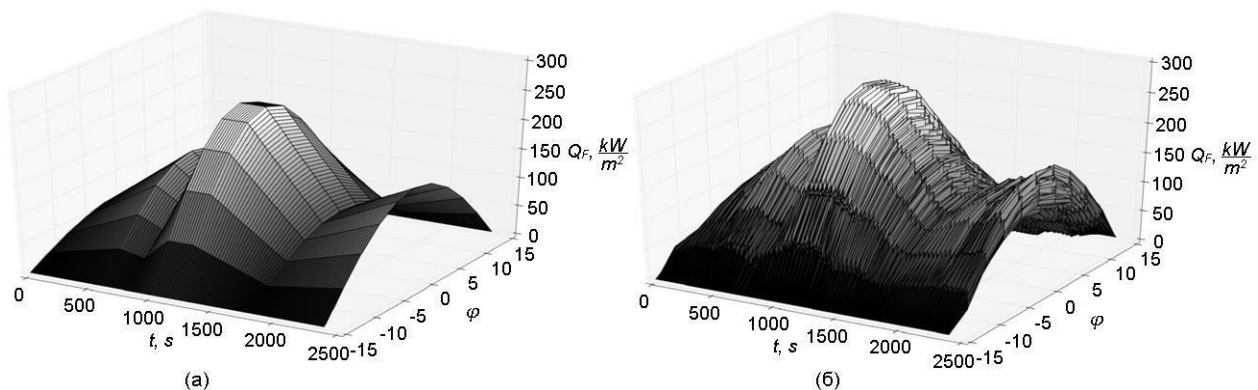


Рисунок 1 – Результаты восстановления функции удельной интенсивности теплообразования с возмущенными температурными данными: искомая (а) и приближенная (б)

При уровне случайных погрешностей температуры, составляющем 3,8 %, погрешность восстановления функции теплообразования составляет 9,9 %. Тем не менее, такую точность полученного алгоритма решения обратной задачи восстановления фрикционного теплообразования можно считать приемлемой для практических расчетов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 122011100162-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тихонов, Р.С. Динамика температурных полей в самосмазывающихся полимерных подшипниках скольжения с возвратно-вращательным движением вала [Текст] / Р.С. Тихонов, Н.П. Старостин // Новые материалы и технологии в условиях Арктики. Материалы V Междунар. конф. с элементами научной школы. – Якутск: СВФУ, 2022. – С. 77–79.
2. Алифанов, О.М. Обратные задачи теплообмена [Текст] / О.М. Алифанов. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
3. Васильев, Ф.П. Методы оптимизации [Текст] / Ф.П. Васильев. – М.: Факториал Пресс, 2002. – 824 с.

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ

Данилов Д.М., Никитина Л.П., Тимофеева Е.Н.

СВФУ, Якутск, Россия

danis-danilov-2001@mail.ru

“THE INFLUENCE OF CARBON NANOTUBES ON THE PROPERTIES OF RUBBERS BASED ON BUTADIENE-NITRILE RUBBERS”

Арктика — один из важнейших регионов нашей планеты, где стремительно развивается ресурсная и транспортная инфраструктура. В условиях сурового климата для освоения Арктики доступны различные классы техники. Такие изделия не могут обойтись без резиновых изделий, к которым предъявляются серьезные требования. В условиях Сибири и Крайнего Севера РТИ должны сохранять эксплуатационные характеристики на длительный период при продолжительном воздействии низких температур (до -50 °С). Известно, что эксплуатационные свойства зависят от оптимального соотношения химической и физической сеток вулканизатов. Одним из перспективных нанодобавок в полимерном материаловедении, являются углеродные нанотрубки (УНТ). Наномодификаторы, в том числе УНТ, способны повышать основные эксплуатационные характеристики эластомерных материалов за счет образования дополнительных слабых физических связей между макромолекулами каучука, технического углерода (ТУ) и УНТ.

В работе представлены результаты исследований влияния углеродных нанотрубок на изменение физико- механических свойств резин, изменения релаксационных свойств и на изменение числа поперечных связей резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков (БНК) марки БНКС-18 АМ. Для сшивания макромолекул БНК обычно используют серную вулканизирующую группу [1]. Были исследованы многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) с удельной площадью поверхности около 170 м²/г.

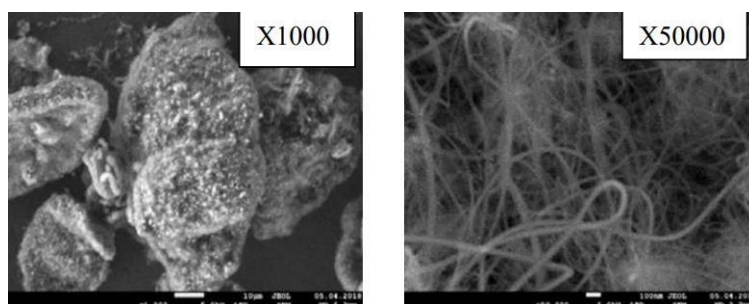


Рисунок 1 – Электронные микрофотографии многостенных углеродных нанотрубок

Физико-механические свойства резин исследованы на разрывной машине Autograph UGS-J (ГОСТ 270-75). Остаточную деформацию сжатия определяли по ГОСТ 9.029-74. По величине равновесного набухания вулканизата оценивали степень вулканизации резин, т.к. на величину максимума набухания влияет густота молекулярной сетки. Исследование числа поперечных связей проводили в соответствии с методикой, описанной в работе [2].

Физическую сетку резин, косвенным образом оценивали по изменению условной прочности при разрыве (f) (рис. 1).

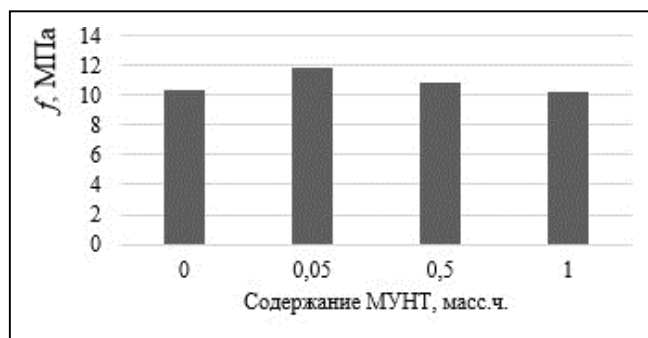


Рисунок 2 – Зависимость изменения условной прочности при разрыве резин на основе БНКС-18 от содержания МУНТ

Установлено, что введение 0,05 масс.ч МУНТ на 100 масс.ч. каучука приводит к повышению условной прочности при разрыве на 14%, по сравнению с исходной резиной. С увеличением концентрации МУНТ условная прочность остается на уровне в пределах погрешности. Для РТИ изделий, которые используются в качестве уплотнительных деталей в различных узлах минимальное значение f должно составлять 7 МПа, таким образом можно сказать, что модельная резина на основе БНКС-18 обладает достаточным запасом прочности.

С другой стороны, качества химической сетки вулканизатов определяют эксплуатационные характеристики. Это может быть достигнуто от правильного подбора рецептуры и равномерного распределения по матрице каучука всех компонентов резиновой смеси, участвующих в образовании химической сетки.

По результатам исследований установлено, что для резин на основе БНКС-18 изменения значений ОДС проходит через минимум. Наилучший результат был получен при введении 0,05 масс.ч МУНТ, при этом значение ОДС улучшается на 7%, по сравнению с исходным показателем.

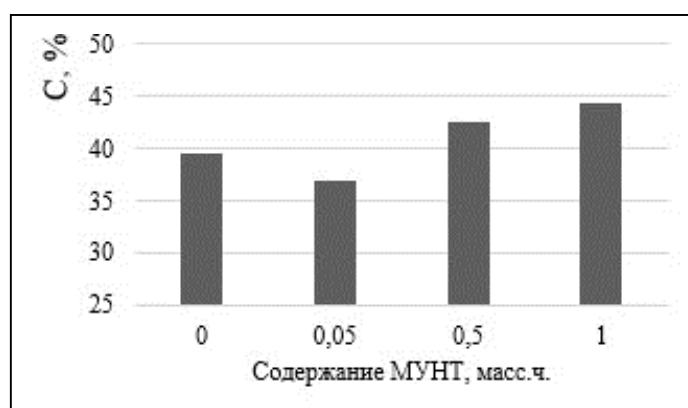


Рисунок 3 – Зависимость изменения остаточной деформации сжатия резин на основе БНК от содержания МУНТ

В работе исследовали модельную рецептуру, вулканизирующим агентом являлась сера. Известно, что с увеличением в вулканизате поперечных связей молекулам растворителя труднее проникать между молекулами каучука: чем больше степень сшивания, тем меньше максимум набухания эластомера [3]. Методом равновесного набухания установлено, что при повышении содержания МУНТ в составе резин на основе БНКС-18 увеличивается число поперечных связей вулканизатов до 35%, по сравнению с исходной резиной (табл.1). Возможно, МУНТ из-за наличия избыточной энергии на границе раздела фаз может участвовать в диспергировании других веществ, входящих состав резины.

Таблица 1 – Количество поперечных связей (n_c), приходящихся на 1 см³ резин на основе БНКС-18, модифицированных МУНТ

$n_c \cdot 10^{-19}, \text{см}^3$	Содержание МУНТ, масс.ч.			
	0	0,05	0,5	1,0
БНКС-18	6,53	9,07	7,79	7,52

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Папков, В.Н. Бутадиен-нитрильные каучуки. Синтез и свойства: монография [Текст] / В.Н. Папков, Ю.К. Гусев, Э.М. Ривин. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. – 218 с.
2. Голицына, Л.А. Химия и физика полимеров: методичка [Текст] / Л.А. Голицына. – Киров: Вят.ГТУ, 1997. – 39 с.
3. Шварц, А.Г. Монограммы для определения плотности пространственной сетки вулканизатов [Текст] / А.Г. Шварц // Каучук и резина. – 1957. – №. 7. – С.31-34;

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЗИН НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИДРОЛИЗАТА КОЛЛАГЕНА И КАУЧУКА

Исакова А.И., Артахинова С.Ф., Петрова Н.Н.

СВФУ, Якутск, Россия

isa.a1@mail.ru

“RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF RUBBERS ON THE INTERACTION OF COLLAGEN HYDROLYZATE AND RUBBER”

В настоящее время изделия из эластомерных материалов, ассортимент которых уже насчитывается десятками тысяч, нашли широкое применение во всех отраслях народного хозяйства. Но проблема утилизации отходов резино-технической промышленности остается в значительной мере нерешенной, что не может не волновать общественность, приверженную идеям устойчивого развития и зеленой химии. Резино-технические изделия (РТИ) после истечения срока эксплуатации могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду вследствие выделения ингредиентов и продуктов деструкции, способных привести к нарушению экологического равновесия. Поэтому поиск новых экологически чистых, многофункциональных ингредиентов эластомерных материалов приобретает особую актуальность. В настоящее время проводится модификация полимерных материалов различными биологически активными веществами такими, как гидролизат кератина, рисовая шелуха, фосфолипиды и т.д. [1-6], что позволяет комплексно улучшить свойства материалов и повысить их экологичность.

В этом отношении применение полученного нами гидролизата коллагена (ГК) из плавательных пузырей северных видов рыб в качестве модификатора резиновых смесей является перспективным направлением модификации резин. Гидролизат коллагена — это экологически чистый продукт, применение которого в будущем может вытеснить из состава резиновой смеси некоторые вредные для окружающей среды вещества.

Целью нашей работы является изучение влияния полученного нами гидролизата коллагена на эксплуатационные свойства резин на основе полярных каучуков (эпихлоргидриновый, бутадиен-нитрильный) и неполярных каучуков (полиизопреновый).

Объектами исследования были выбраны эпихлоргидриновый каучук марки HYDRIN T6000 (Zeon, Япония), бутадиен-нитрильный каучук синтетический с содержанием нитрила акриловой кислоты 18 и 28 масс.ч., синтетический каучук изопреновый марки СКИ-3 и гидролизат коллагена, полученный из плавательных пузырей северных видов рыб щелочно-солевым гидролизом с последующей сублимационной сушкой [7].

Резиновые смеси готовили по стандартным методикам на пластикордере «Brabender PL-2200» (Германия), вулканизацию вели в гидравлическом прессе GT-7014-N10C (США). Модификатор вводили непосредственно в резиновые смеси в количестве 1, 2, 3, 4 и 5 массовых частей на 100 массовых частей каучука. Определение вулканизационных характеристик резиновых смесей проводили по ГОСТ 12535-84 методом реометрии. Данные резины предполагается использовать для получения различных РТИ уплотнительного назначения, поэтому в комплекс исследований входило определение физико-механических свойств полученных резин (ГОСТ 270-75), степени набухания (ГОСТ 9.030-74), сопротивления раздиру (по ГОСТ 262-93), остаточной деформации сжатия (ОДС) (ГОСТ 9.029-74) и коэффициента морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия (ГОСТ 13808-79), т.е. были определены свойства, необходимые для работы РТИ уплотнительного назначения.

Результаты исследований эксплуатационных свойств резин на основе ЭПХГ показали, что сопротивление раздиру при введении 3 масс.ч. ГК выше на 12,8% по сравнению с исходной, физико-механические свойства при этом сохраняются на исходном уровне. Выявлено, что при введении 3 масс.ч. ГК в резиновую смесь на основе БНКС-18 и БНКС-28 значение ОДС уменьшается на 17 и 20 % соответственно по сравнению с исходной. Исследования морозостойкости резин на основе БНКС-18, которую оценивали по коэффициенту эластического восстановления после сжатия, показали, что введение гидролизата коллагена в рецептуру резин положительно влияет на низкотемпературные свойства резин. Также при введении гидролизата коллагена наблюдается существенное увеличение скорости вулканизации в главном периоде: для резиновой смеси на основе БНКС-18 на 216 %, для БНКС-28 – 359%, для ЭПХГ – 83%. т.е. подобное влияние позволит в будущем сократить продолжительность вулканизации резинотехнических изделий.

При модификации неполярного изопренового каучука СКИ-3 не отмечено положительного влияния гидролизата коллагена: при введении 3 масс.ч. ГК наблюдается снижение условной прочности на 34%

и относительного удлинения на 20% по сравнению с исходной резиной, а остаточная деформация сжатия увеличивается на 9%.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что гидролизат коллагена по-разному влияет на свойства резин исходя из их природы. Его предпочтительнее вводить в полярные каучуки, поскольку в данном случае влияние выше. Это связано с возможностью образования дополнительных сшивок в материале при введении гидролизата коллагена, что подтверждает существенное увеличение скорости вулканизации резиновых смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Janowska, G. Thermal properties and combustibility of elastomer-protein composites [Text] / G. Janowska, A. Kucharska-Jastrzabek, M. Prochon // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2013. – No. 3. – P.933.
2. Корнев, Ю.В. Исследование влияния дисперсности продуктов переработки рисовой шелухи на свойства эластомерных композитов [Текст] / Ю.В. Корнев, С.В. Емельянов, А.Ю. Лукьянова, Н.А. Семенов, Е.Н. Спиридонова. Д.В. Гуськов // Каучук и резина. – 2018. – Т. 77, №. 1. – С. 20-24.
3. Шевченко, В.М. Модификация синтетического полиизопрена фосфолипидным концентратом [Текст] / В.М. Шевченко, Е.В. Шаркаева, Р.В. Тетерятников, Н.В. Крючкова, М.А. Саяпина, А.П. Рахматуллина, А.А. Дауылбек // Каучук и резина. – 2021. – Т. 80, №. 6. – С. 292-296.
4. Рахматуллина, А.П. Влияние количества белково-липидных комплексов, действующих в качестве модификатора, на характеристики резин на основе синтетического полиизопрена [Текст] / А.П. Рахматуллина, Х.Т. Чан, Е.Э. Потапов // Каучук и резина. – 2019. – Т. 78, №. 6. – С. 350-355.
5. Черезова, Е.Н. Использование порошковой целлюлозы из соломы овса в составе ограниченно набухающих резин для уплотнительных элементов [Текст] / Е.Н. Черезова, Ю.С. Карасева, Х.С.М. Абдельрехим Абдалла, К.А. Момзякова // Каучук и резина. – 2020. – Т. 79, №. 2. – С. 72-76.
6. Blanco, M. Hydrolysates of fish skin collagen: an opportunity for valorizing fish industry byproducts [Text] / M. Blanco, J.A. Vázquez, R.I. Pérez-Martín, C.G. Sotelo // Marine Proteins and Peptides a special issue of Marine Drugs. – 2017. – Vol. 15, Iss. 5. – P. 131.
7. Иванова, С.Ф. Исследование коллагена из плавательного пузыря осетровых (acipenseridae) и сиговых (corogenidae) пород рыб [Текст] / С.Ф. Иванова, Н.Н Петрова // Вестник СВФУ. – 2015. – №. 5(49). – С. 51-59.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНЫХ КОМПОЗИТНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ СЛОИСТЫХ ДВОЙНЫХ ГИДРОКСИДОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ U(VI) ИЗ ЖИДКИХ СРЕД

Писарев С.М., Иванов Н.П., Зернов Я.Г., Мармаза П.А.

ДВФУ, Владивосток, Россия

pisarev.smi@dvfu.ru

“THE USE OF MAGNETIC COMPOSITE SORBENTS BASED ON LAYERED DOUBLE HYDROXIDES FOR THE REMOVAL OF U(VI) FROM LIQUID MEDIA”

В настоящее время производится строительство большого количества атомных электростанций (АЭС), которые удовлетворяют энергетические потребности населения. Арктический регион не является исключением, ведь именно там находится уникальная плавучая АЭС. Дальнейшее развитие таких сооружений, а также атомных электростанций малой мощности представляется крайне перспективным. Поэтому очистка жидких радиоактивных отходов (ЖРО), генерируемых на начальных и заключительных этапах ядерного топливного цикла (ЯТЦ), является важным научно-техническим вопросом. Одним из перспективных методов очистки считается такого рода отходов является использование селективных сорбентов. В данный момент учёные рассматривают слоистые двойные гидроксиды (СДГ) как эффективный сорбент для извлечения U(VI) из ЖРО начального этапа ЯТЦ, однако существует проблема извлечения этих сорбентов из технической среды после адсорбции, которая может быть решена с помощью магнитной сепарации. В настоящей работе были получены магнитные композитные сорбционные материалы на основе магнитных наночастиц Fe₃O₄ и Zn-Al-СДГ.

Для синтеза магнитных наночастиц использовали FeCl₃*6H₂O и FeSO₄*7H₂O. композитные материалы получали способом прямого осаждения смеси с помощью NaOH. При этом использовали различные мольные соотношения Fe₃O₄ и ZnCl₂ (n(Fe₃O₄)/n(ZnCl₂) = 1/4 для Fe₃O₄/СДГ-1/4 и

$n(\text{Fe}_3\text{O}_4)/n(\text{ZnCl}_2) = 1/16$ для $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{СДГ-1/16}$). Полученный материал был охарактеризован методом рентгенофазового анализа, определение адсорбции U(VI), методом статической адсорбции из растворов нитрата уранила $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ в дистиллированной воде, Определение концентрации урана производили спектрофотометрически по изменению оптической плотности (до и после сорбции) в присутствии Арсеназо III.

На рис. 1 представлены дифрактограммы полученных образцов. Как видно из рисунка 1, характерные пики фазы Zn-Al-СДГ, отвечающей общей формуле $\text{Zn}_{0,7}\text{Al}_{0,3}(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_{0,15}$, присутствуют на дифрактограмме образца Zn-Al-СДГ-1/16, а для образца Zn-Al-СДГ-1/4 наблюдали формирование только фазы цинкита ZnO. Характерные пики цинкита ZnO также присутствуют и в образце Zn-Al-СДГ-1/16.

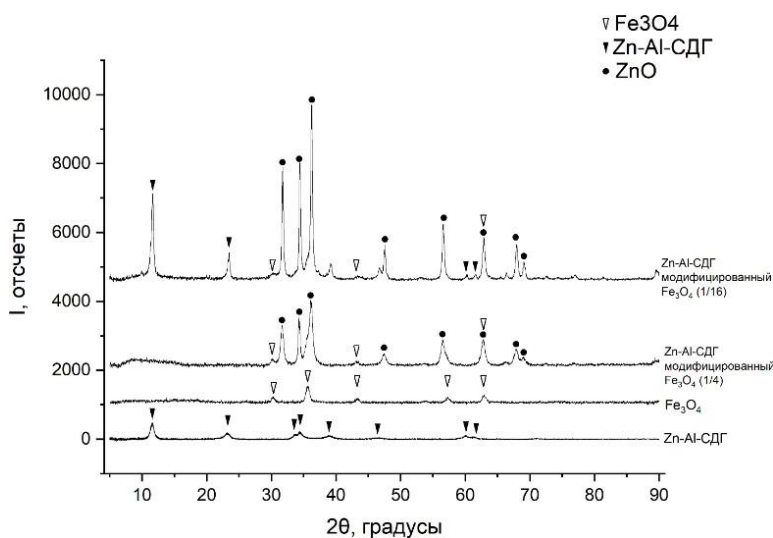


Рисунок 1 – Дифрактограммы исходных и модифицированных материалов

Также была изучена адсорбция урана на полученных образцах из монокомпонентного раствора. Результаты исследования представлены в табл. 1. Как видно из таблицы, магнитные наночастицы Fe_3O_4 не обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к урану UO_2^{2+} . Модификация данных наночастиц с помощью СДГ позволяет получать композиты, эффективно извлекающие UO_2^{2+} из монокомпонентного раствора с применением метода магнитной сепарации. При увеличении мольного соотношения $\text{Zn}^{2+}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ возрастает и сорбционная емкость, а магнитные свойства материала остаются достаточно сильными для его практического применения в очистке жидких радиоактивных отходов.

Таблица 1 – Значения сорбционной ёмкости материалов по отношению к U(VI)

Материал	Сорбционная емкость , мг/г
/СДГ-1/16	99,35
/СДГ-1/4	94,64
	7,57
Zn-Al-СДГ	99,51

В ходе выполнения работы были получены магнитные композиты $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{СДГ-1/16}$ и $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{СДГ-1/4}$ методом прямого осаждения для эффективной очистки жидких сред от урана в форме уранил-иона UO_2^{2+} с использованием метода магнитной сепарации. Фазовый состав полученных композитов был установлен с использованием метода РФА. Сорбционная обменная емкость в статических условиях составила $Q = 99,34 \text{ мг}(\text{UO}_2^{2+})/\text{г}$ для композитного материала $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{СДГ-1/16}$. Полученные сорбенты перспективны для очистки жидких сред от радионуклидов урана.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования № FZNS-2023–0003, тема «Фундаментальные основы химической инженерии новых функциональных материалов адаптивных для ядерных и радиационных технологий».

RELAXOR BEHAVIOR OF NANO-SIZE CRYSTALLINE&AMORPHOUS PZT MICROSTRUCTURE FOR CAPACITOR APPLICATIONS

Dae-Yong JEONG

Department of Materials Science & Engineering, Inha University, Incheon, KOREA

dyjeong@inha.ac.kr

Normal ferroelectric $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ (PZT) has been intensively studied and used for various applications. For energy storage capacitor application, normal ferroelectric has several drawbacks such as low breakdown field and poor charging/discharging efficiency due to large hysteresis. Low breakdown field of crystalline PZT can be mitigated by introducing the amorphous phase to form a composite. High efficiency can be realized by making large hysteresis into slim shape. Here, a novel nanograin engineering approach based upon high kinetic energy deposition is reported, for mechanically inducing the relaxor ferroelectric behavior in a composite of crystalline and amorphous PZT, which results in simultaneous enhancement in the dielectric breakdown strength and high efficiency. Aerosol deposited thick films with 4 μm thickness exhibit an exceptional breakdown field of 540 MV/m and reduced hysteresis with energy-storage density of 124.1 J/cm³ and a power density of 64.5 MW/cm³. This approach is correlated with the generalized nanostructure design that comprises nanocrystalline phases embedded within the amorphous matrix.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОИСТЫХ ДВОЙНЫХ ГИДРОКСИДОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К CS(I) В ЖИДКИХ СРЕДАХ СЛОЖНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Расторгчев В.Л., Иванов Н.П., Зернов Я.Г.

ДФВУ, Владивосток, Россия

rastorguev.vl@dvfu.ru

“STUDY OF SORPTION CHARACTERISTICS OF LAYERED DOUBLE HYDROXIDES TO CS(I) IN
THE LIQUID MEDIA OF COMPLEX CHEMICAL COMPOSITION”

Атомная промышленность и ядерная энергетика в Арктической зоне РФ претерпевают интенсивное развитие [1, 2]. Исследование Арктики представляется затруднительным без использования энергии, полученной вследствие контролируемого распада ядер. В связи с этим, химическая инженерия новых, более эффективных сорбционных материалов для извлечения радионуклидов из жидких сред, является актуальной задачей для научного сообщества. Сорбенты на основе слоистых двойных гидроксидов (СДГ), интеркалированных ферроцианидами, демонстрируют высокую эффективность в процессах извлечения радионуклидов цезия Cs(I) из монокомпонентного раствора [3] и данные материалы отличаются экономической эффективностью.

Модельные растворы, которые были использованы в более ранних работах [3], не содержали посторонних ионов. В то же время существует необходимость оценить селективность процессов адсорбции Cs(I) на композитных материалах, полученных путем модификации слоистых двойных гидроксидов ферроцианид-ионами. В связи с этим, целью настоящей работы являлось исследование влияния присутствия мешающих ионов (K^+ , Na^+ , Ca^{2+}) на адсорбционные характеристики материалов по отношению к Cs(I).

Исследование сорбционных характеристик проводили в статических условиях: модельные растворы были подготовлены с использованием дистиллированной воды, в которой находилось 1 ммоль/л стабильного Cs^+ в присутствии мешающих ионов (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), в растворы помещали навеску сорбента при соотношении Т:Ж = 1:1000. Сорбционную ёмкость по отношению Cs(I) определяли по формуле:

$$q_{\text{eq}} = (C_0 - C_1) \frac{V}{m},$$

где q_{eq} – статическая обменная емкость, мг/г; C_0 – исходная концентрация адсорбтива, мг/л; C_1 – концентрация адсорбтива после сорбции, мг/л; V – объем жидкой фазы, л; m – масса твердой фазы, г.

На рис. 1 представлены изотермы адсорбции Cs(I) из монокомпонентного раствора, а также влияние мешающих катионов на сорбционную эффективность извлечения цезия.

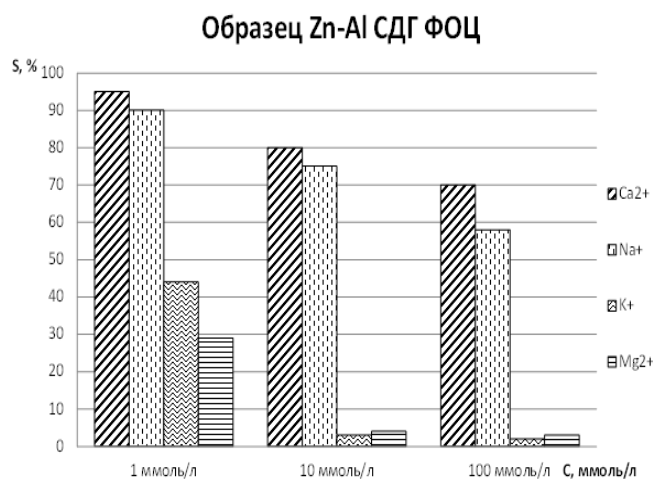
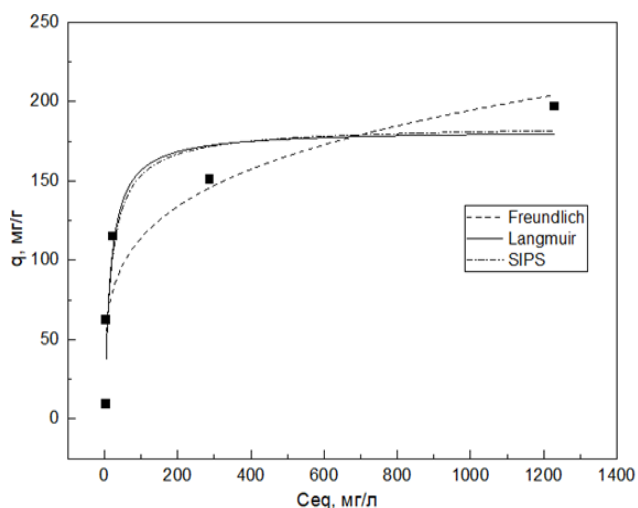


Рисунок 1 – Изотермы адсорбции Cs(I) из монокомпонентного раствора и сорбционная емкость по отношению к Cs(I) в присутствии мешающих ионов

Согласно построенным графическим зависимостям (рис. 1) можно сделать вывод, что в диапазоне малых концентраций (<1 ммоль/л) в присутствии мешающих ионов (Na, K, Mg, Ca) практически не наблюдается снижение сорбирующей способности материала по отношению к радионуклиду, но с увеличением концентрации (>1 ммоль/л) мешающих ионов замечена тенденция к снижению сорбционной эффективности.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования № FZNS-2023–0003, тема «Фундаментальные основы химической инженерии новых функциональных материалов адаптивных для ядерных и радиационных технологий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Hossain, F. Natural and anthropogenic radionuclides in water and wastewater: Sources, treatments and recoveries [Text] / F. Hossain // Journal of Environmental Radioactivity. – 2020 – Vol. 225. – P. 106423.
- Alby, D. Recent developments in nanostructured inorganic materials for sorption of cesium and strontium: Synthesis and shaping, sorption capacity, mechanisms, and selectivity – A review [Text] / D. Alby, C. Charnay, M. Heran [et al.] // Journal of hazardous materials. – 2018 – Vol. 344. – P. 511–530.
- Chen, S. Prussian blue analogs-based layered double hydroxides for highly efficient Cs+ removal from wastewater / S. Chen, X. Yang, Z. Wang [et al.] // Journal of hazardous materials. – 2021. – Vol. 410. – P. 124608.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА/СЕРПЕНТИНИТА

Быстрова А.Е., Гуляева Г.А., Собакина А.А., Тарасова П.Н., Осипова В.Н.

СВФУ, Якутск, Россия

bystrova96@gmail.com

“DEVELOPMENT AND RESEARCH OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE AND CARBON FIBER/SERPENTINITE”

Модификация политетрафторэтилена (ПТФЭ) различными наполнителями открывает большие перспективы для создания материалов с принципиально новыми заданными технологическими и эксплуатационными свойствами. Ценным свойством композиционных материалов на основе ПТФЭ является работоспособность в широком интервале температур.

Целью работы является исследование влияния углеродного волокна/серпентинита на свойства и структуру политетрафторэтилена.

В качестве наполнителей ПТФЭ марки ПН-90 (ГОСТ 10007-80, АО «ГалоПолимер») были выбраны: модифицированные короткие углеродные волокна (УВ) марки «Белум» ОАО «Светлогорск

Химволокно», Беларусь; серпентин (СП) Хамеловского месторождения Мурманской области. Серпентин перед смешением с полимером подвергали механоактивации в планетарной мельнице «Активатор – 2S» (ЗАО «Активатор», г. Новосибирск) в течение 2 мин, со скоростью 1356 об/мин. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) получали сухим смешением компонентов, методом холодного формования под удельным давлением 50 МПа, с последующим спеканием при 375°C.

Таблица 1 – Механические и триботехнические характеристики композитов

Композит, мас. %			Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Модуль упругости, МПа	Коэффициент трения	Скорость массового изнашивания, мг/ч
ПТФЭ	УВ	СП					
100	-	-	20±2	354±35	441±44	0,23±0,01	51,39±2,57
98	2	-	26±2	373±37	398±39	0,20±0,01	1,24±0,06
98	-	2	14±1	316±31	518±51	0,28±0,01	1,80±0,09

Анализ данных, приведенных в таблице, свидетельствует, что износостойкость композитов по сравнению с ПТФЭ возросла в интервале от 28 до 41 раз. Увеличение износостойкости связано с изменением надмолекулярной структуры полимера. Наполнители, концентрируясь на поверхности трения ПТФЭ сформируют защитную структуру, локализирующую в свою очередь деформацию сдвига и предохраняющую поверхностный слой ПКМ от разрушения. При введении УВ коэффициент трения остается на уровне исходного ПТФЭ, а в случае СП происходит повышение, которое связано с образованием сферолитов различных форм и структур [1]. Как известно из работы [2], изготовление композитов по технологии свободного спекания имеет свои недостатки: снижение прочности при растяжении и относительного удлинения композита с содержанием 2 мас.% СП. Такое изменение вероятно выражается повышением пористости и жесткости молекул, взаимодействующих с модификатором в пределах аморфной фазы [3]. В работе [4] показано, что в случае хорошей межфазной адгезии в системе «полимер–наполнитель» происходит увеличение значения модуля упругости, а отсутствие межфазной адгезии к его снижению.

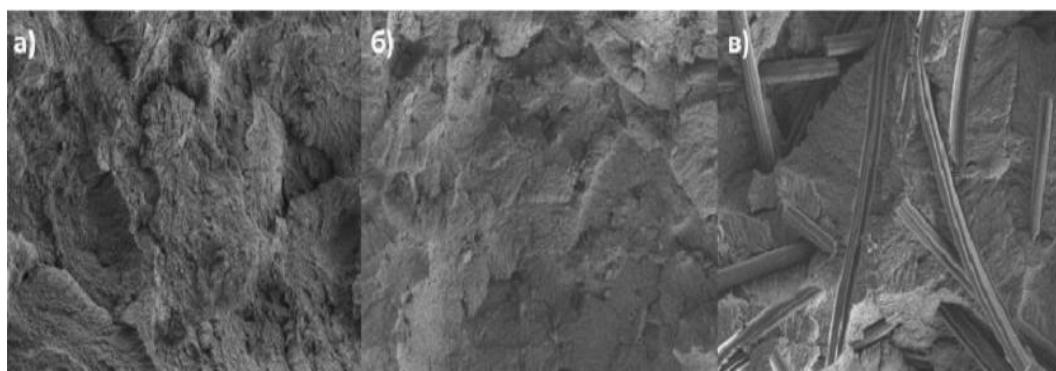


Рисунок 1 – Надмолекулярная структура ПТФЭ (а) и ПКМ на его основе (увеличение в 500 раз): в) ПТФЭ+2%СП; в) ПТФЭ+2%УВ

Использование СП в качестве наполнителя приводит к изменению ленточно-полосчатой структуры ПТФЭ и образованию надмолекулярных структур по типу сферолитообразования. На микрофотографиях заметно, что частицы наполнителя служат центрами кристаллизации, от которых идет рост сферолитных образований. Распределение УВ в объеме полимера показало, что наполнитель в объеме полимерной матрицы распределяется хаотично. Причиной нетипичной для ПТФЭ кристаллизации является влияние поверхности волокон на процессы кристаллизации полимера. В условиях фрикционного действия в ПКМ развиваются сложные физико-химические процессы деструкции окисления, вызывающие изменения химического и фазового состава, а также параметров надмолекулярной структуры поверхностного слоя.

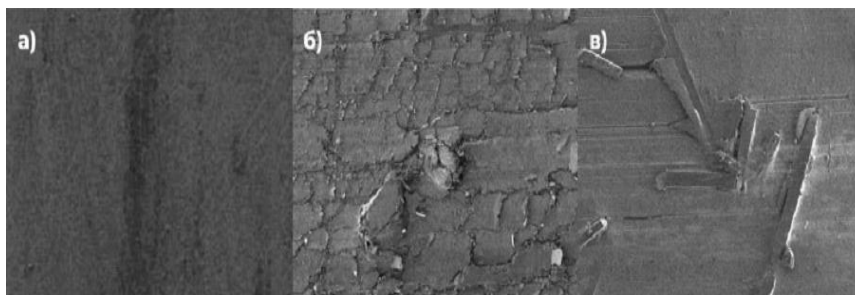


Рисунок 2 – Поверхность трения ПТФЭ (а) и ПКМ на его основе (увеличение в 500 раз): б) ПТФЭ+2%СП; в) ПТФЭ+2%УВ

Обнаружены УВ на поверхности трения композитов, они распределены случайным образом и выступают из изношенных поверхностей. Возможно, волокна локализуясь на поверхностном слое композитов защищают его от разрушения, за счет чего, происходит увеличение износостойкости. В процессе трения частицы наполнителя взаимодействуя с макромолекулами полимера образуют защитный слой.

В целом, добавление наполнителей различного типа и структуры приводит к повышению эксплуатационных свойств ПКМ относительно исходного полимера. Экспериментально установлено, что на поверхности трения ПКМ наполнители локализованы случайным образом и образуют некий слой, защищающий материал от дальнейшего истирания. При их добавлении износостойкость материала возросла от 28 до 41 раза при сохранении и некотором повышении коэффициента трения. Наибольшее улучшение свойств показал композит на основе ПТФЭ и 2 мас.% УВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Слепцова, С.А. Структура и триботехнические свойства политетрафторэтилена, модифицированного слоистыми силикатами [Текст] / С.А. Слепцова, Е.С. Афанасьева, В.П. Григорьева // Трение и износ. – 2009. – Т. 30, №. 6. – С. 587-589.
2. Охлопкова, А.А. Триботехнические материалы из политетрафторэтилена, модифицированного углеродными волокнами и шпинелями магния [Текст] / А.А. Охлопкова, Т.С. Стручкова // Поликомтриб. – 2009. – С. 11-19.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ В ПРОЦЕССЕ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ НА ОСНОВЕ

ГЕКСАМЕТАФОСФАТА НАТРИЯ

Люй Л.^{1,2}, Чжао Ц.¹, Башков О.В.¹, Ли С.²

¹КНАГУ, Комсомольск-на-Амуре, Россия; ²USTH, Харбин, КНР

lylan1980@163.com

“RESEARCH OF THE OXIDE COATINGS FORMED DURING THE MICROARC OXIDATION IN AN ELECTROLYTE BASED ON SODIUM HEXAMETAPHOSPHATE”

Алюминиевые сплавы занимают более 70% конструкционных материалов в авиастроении. Из-за невысокой твердости алюминиевых сплавов требуется защита их поверхности от повреждений и износа. В настоящее время для защиты поверхности алюминиевых сплавов широко применяются различные методы оксидирования, в том числе метод микродугового оксидирования (МДО) [1-3].

Целью работы является исследование влияния времени оксидирования с использованием МДО на структуру и свойства оксидных покрытий, формируемых на алюминиевом сплаве 7075 (российский аналог В95) в электролите на основе гексаметафосфата натрия с добавлением метасиликата и гидроксида натрия.

Для формирования оксидных покрытий на образцах алюминиевого сплава 7075 применялась лабораторная установка для микродугового оксидирования, изготовленная в ДВФУ [4]. Установка имеет цифровое управление и регистрацию параметров обработки. Оборудование позволяет формировать импульсы частотой 300 Гц с изменяемой скважностью и амплитудой, поддерживает режимы работы с поддержанием постоянного напряжения амплитудой до 500 В и постоянного тока амплитудой до 50 А. Оксидирование выполнялось в электролите, содержащем гексаметафосфат натрия, метасиликат и гидроксид натрия в течение времени от 30 до 120 минут при режиме, описанном

в работе [5] при постоянной плотности тока $4,7 \text{ А/дм}^2$. После оксидирования на поперечных шлифах при исследовании с помощью сканирующего электронного микроскопа определяли толщину покрытий. Шероховатость определяли портативным измерителем TR-200, микротвердость измеряли на микро-твердомере НМV-2.

По результатам электронной микроскопии было установлено, что покрытия имеют внутренние поры и каналы [6], через которые поступал электролит к подложке (рис. 1).

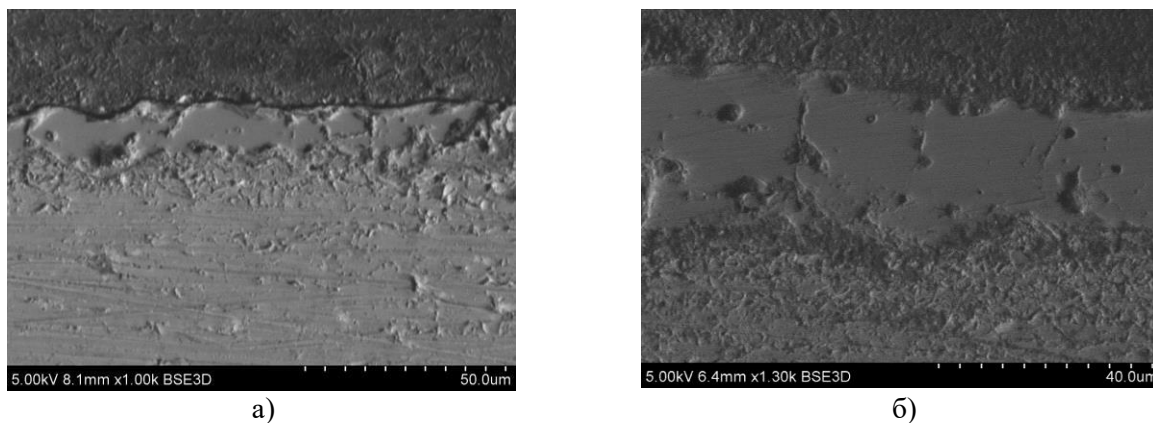


Рисунок 1 – Структура покрытия, сформированного на сплаве 7075 в течение 30 минут (а) и 120 минут (б)

Измерение толщины покрытий показало, что наблюдается высокая достоверность линейной аппроксимации толщины покрытий от времени оксидирования (рис. 2), достигающая 0,9924.

Шероховатость покрытий монотонно возрастает при увеличении времени оксидирования, что также ранее было отмечено в работе [6]. Это связано с тем, что при постоянстве плотности тока для обеспечения электрического пробоя требуется большая энергия, что приводит плазменному процессу выплескивания и застыванию расплава керамики на поверхности уже образованного оксида.

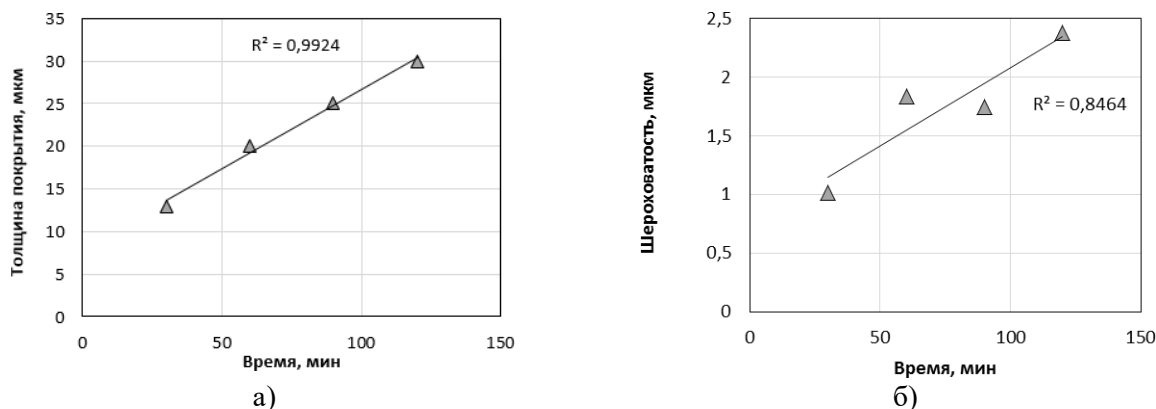


Рисунок 2 – Зависимость толщины (а) и шероховатости (б) оксидных покрытий от времени оксидирования

В ходе проведенных исследований был установлен характер влияния времени МДО алюминиевого сплава 7075 на основные параметры формируемых оксидных покрытий.

Значения толщины с высокой степенью достоверности аппроксимации имеют линейную зависимость от времени оксидирования.

Шероховатость и твердость также имеют линейную зависимость от времени оксидирования. Достоверность линейной аппроксимации ниже, чем при определении толщины покрытия, что связано с достаточно неравномерным характером покрытия.

Полученные покрытия являются пористыми в отличие от полученных при анодировании. Однако это не снижает, а наоборот расширяет область их применения.

Покрытия, полученные в электролите на основе гексаметафосфата натрия, могут в дальнейшем найти применение в различных областях промышленности, авиастроения и медицины.

Работа подготовлена при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (проект НШ-452.2022.4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лернер, Л. Твердое анодирование алюминия: история и современность [Текст] / Л. Лернер // Цветные металлы. – 2003. – №. 6. – С. 84-87.
2. Гордиенко, П.С. Микродуговое оксидирование металлов и сплавов [Текст] / П.С. Гордиенко, В.А. Достовалов, А.В. Ефименко. – Владивосток: Издательский дом Дальневосточного федерального университета, 2013. – 521 с.
3. Криштал, М.М. Влияние наночастиц SiO₂ и растворимого силиката на состав и свойства оксидных слоев, формируемых микродуговым оксидированием на магнии Mg96 [Текст] / М.М. Криштал, П.В. Ивашин, А.В. Полунин [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2019. – №. 3(765). – С. 8-16.
4. Li, X. The research of the features destruction of the of oxide coatings on aluminum alloy by using the method of acoustic emission [Text] / X. Li, C. Zhou, O.V. Bashkov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Saint Petersburg, 14–16 мая 2019 года. Vol. 1281. – Saint Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012050.
5. Bashkov, O.V. Investigation of the influence of electrical modes on the morphology and properties of oxide coatings on aluminum alloy 1163, obtained by the microarc oxidation [Text] / O.V. Bashkov, F. Bao, T.I. Bashkova, X. Li // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 200. – P. 87-95.
6. Исследование влияния режимов микродугового оксидирования на морфологию и параметры оксидного покрытия, наносимого на алюминиевый сплав Д16АТ / Ф. Бао, О.В. Башков, Д. Чжан [и др.] // Frontier Materials & Technologies. – 2023. – №. 1. – С. 7-21.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНА ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ОБЛУЧЕНИИ

Федорова Т.С.

СВФУ, Якутск, Россия

tuyaaryma7136@gmail.com

“STUDY OF CHANGES IN THE PROPERTIES OF POLYETHYLENE SURFACE UNDER UV IRRADIATION”

В настоящее время повсеместное использование полимерных материалов, включая полиэтилен, в различных отраслях промышленности и бытовой сфере, требует более глубокого понимания их свойств и характеристик. Одним из важных аспектов исследований является изучение изменений, происходящих на поверхности полимера при воздействии различных факторов, включая ультрафиолетовое излучение.

Изменения поверхности полиэтилена под воздействием ультрафиолетового излучения могут привести к нежелательным последствиям, таким как потеря прочности, изменение физико-химических свойств, ухудшение внешнего вида и т.д., следовательно, эти изменения могут сильно сказаться на долговечности и функциональных характеристиках полиэтиленовых изделий. Исходя из этого, знание об изменениях, происходящих на поверхности полиэтилена при воздействии ультрафиолетового излучения, является ключевым фактором для эффективного применения этого материала в различных областях. Исследования в данной области не только позволят улучшить качество полиэтиленовых изделий, но и разработать новые методы и технологии, способствующие снижению негативных эффектов ультрафиолетового излучения на поверхностные свойства полимера.

В данной работе образцы из полиэтилена марки 273-83 производства ОАО «Казаньоргсинтез» подвергли воздействию УФ-излучения в течение непродолжительного времени с этапами испытаний после 1, 2, 3, 6, 12 и 24 ч облучения. Несмотря на короткий период воздействия излучения, образцы претерпели значительные изменения, что отразилось на некоторых показателях материала. Проводили измерение угла смачивания поверхности образцов дистиллированной водой, в результате чего установили факт снижения значений углов смачивания (рис. 1).

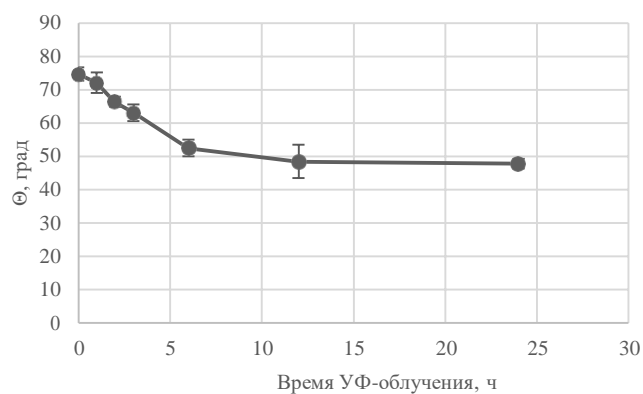


Рисунок 1 – Значения углов смачивания образцов от времени УФ-облучения

Методом энерго-спектрального анализа определяли содержание кислорода на поверхностях образцов (рис. 2). Элементный анализ показал повышение концентрации атомов кислорода по мере увеличения времени экспонирования.

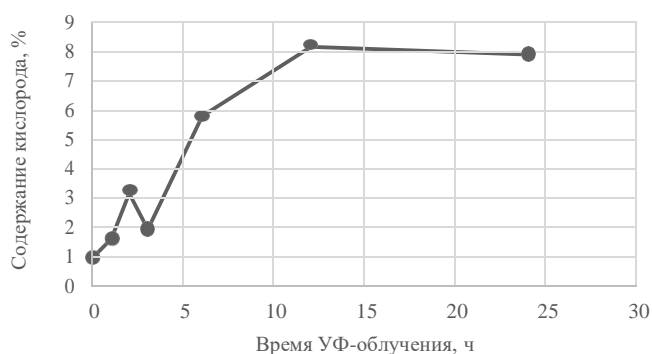


Рисунок 2 – Содержание кислорода от времени УФ-воздействия по результатам энерго-спектрального анализа

На поверхности образцов методом инфракрасной спектроскопии идентифицировали образующиеся в результате окислительной деградации функциональные группы и оценили изменение их количества от времени (рис. 3).

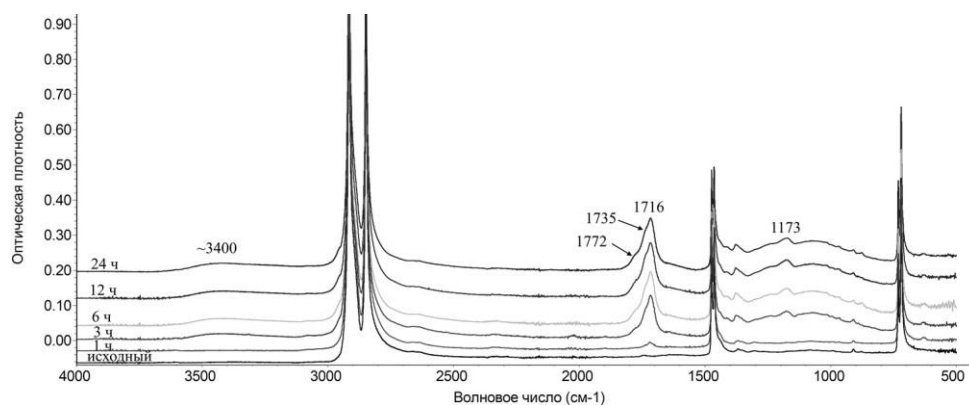


Рисунок 3 – ИК-спектры образцов после УФ-облучения различной продолжительности

Методом электронной микроскопии зафиксировали этапы зарождения трещин на поверхности образцов (рис. 4).

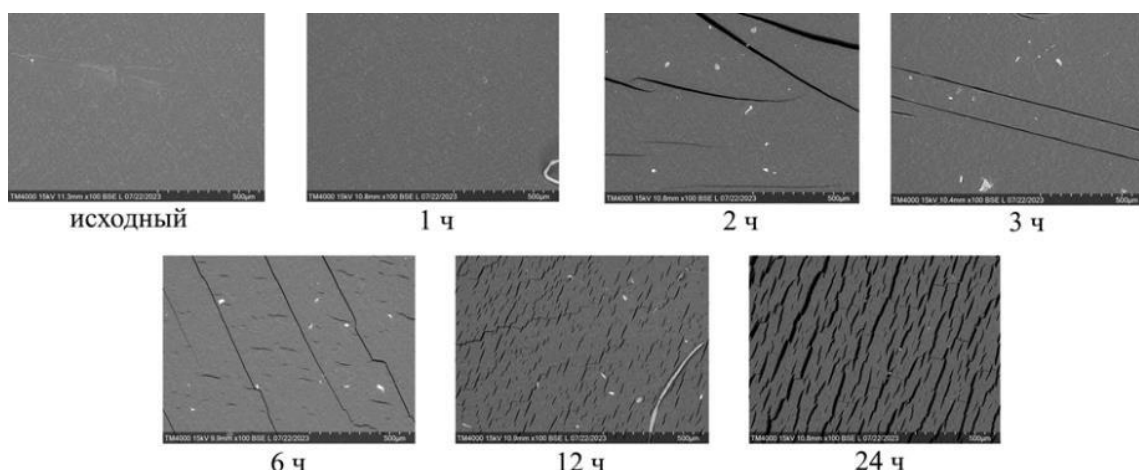


Рисунок 4 – Микрофотографии поверхностей образцов после экспонирования под УФ-излучением, полученные методом растровой электронной микроскопии

В результате проведенного исследования установлено, что процессы деструкции полиэтилена высокой плотности под воздействием ультрафиолетового излучения имеют несколько этапов: начальный период, т.н. индукционный, в течение которого свойства материала сильно не изменяются. Во втором периоде происходят наиболее сильные изменения, сопровождающиеся активным окислением поверхности и зарождением трещин. В третьем периоде скорость окисления несколько снижается, но развитие трещин продолжается и материал все так же продолжает подвергаться деструкции, демонстрируя практически экспоненциальную зависимость потери массы от времени экспонирования. Сделано предположение, что деструкция материала происходит преимущественно в зоне трещин. Результаты работы имеют важное значение для понимания механизмов, ответственных за изменения поверхности полиэтилена под действием ультрафиолетового излучения.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ СОСТАВЫ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Едисеев О.С.

СВФУ им. М.К. Аммосова

olegediseev@yandex.ru

“IMPROVED ASPHALT CONCRETE COATINGS FOR THE I ROAD CLIMATE ZONE”

В настоящее время начиная с 2014 года на территории Российской Федерации внедряются новые технологии устройства и расчетов конструктивных элементов автомобильных дорог.

Строительно-монтажные работы в начале апробации новых нормативных документов выполнялись по так называемым «предварительным национальным стандартам» ПНСТ.

С 2020 года большинство предварительных национальных стандартов в виду положительных результатов при апробации начали внедряться в государственные стандарты Российской Федерации. При введении новых государственных стандартов поменялись требования к качеству и определению физических характеристик асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов. На табл. 1 представлены ключевые показатели для асфальтобетонов по [1].

Таблица 1 – Физико-механические характеристики образцов асфальтобетона для мелкозернистого асфальтобетона по [1]

№	Наименование показателя
1	Определение предела прочности при сжатии образцов асфальтобетона при температуре 50 °С
2	Определение предела прочности при сжатии образцов асфальтобетона при температуре 20 °С
3	Определение предела прочности при сжатии образцов асфальтобетона при температуре 0 °С
4	Коэффициент водостойкости образцов асфальтобетона
5	Сдвигоустойчивость по коэффициенту трения
6	Сцепление при сдвиге при температуре 50 °С
7	Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скоростью деформирования 50 мм/мин

Наряду с данными физико-механическими характеристиками определяется коэффициент уплотнения асфальтобетонного покрытия по [2].

Затем в внедрение нового нормативного документа [3] поменялись методика испытаний асфальтобетонов и технология формирования асфальтобетонов. Для асфальтобетонов по [1] формирование производится в специальных формах разного диаметра при статическом давлении 40 МПа. Для асфальтобетонов по [3] формирование производится динамическими ударами на специальном уплотнителе цилиндрических образцов. Для наглядности на табл. 2 представлены методы определения физических характеристик асфальтобетонов по [3].

Таблица 2 – Физико-механические характеристики образцов асфальтобетона для верхнего слоя покрытия по [3]

Перечень обязательных показателей для асфальтобетонных образцов и кернов (вырубок)	
1	Содержание воздушных пустот для образцов и кернов(вырубок) асфальтобетона
2	Пустоты, в минеральном заполнителе (ПМЗ), в %
3	Пустоты, заполненные битумным вяжущим, в %
Определение эксплуатационных показателей асфальтобетона	
1	Средняя глубина колеи, мм
2	Коэффициент водостойкости
Дополнительные показатели для асфальтобетонов	
1	Определение предела прочности при растяжении при изгибе
2	Предельная относительная деформация растяжения
3	Угол наклона кривой колееобразования, мм каждые 1000 циклов
4	Разрушающая нагрузка по Маршаллу
5	Деформация по Маршаллу
6	Истираемость
7	Остаточная прочность после воздействия реагентов
8	Коэффициент длительной водостойкости

Из данной таблицы видно, что ключевыми показателями, по которым возможно произвести прием к эксплуатации асфальтобетонное покрытие является это средняя глубина колееобразования и коэффициент водостойкости. При определении содержания воздушных пустот, пустот в минеральном заполнителе и пустот заполненных битумным вяжущим определяют качество образования фазы «вяжущее-наполнитель».

Для сравнения можно привести в качестве примера изменения вида ячеек сит для минеральных заполнителей. Для асфальтобетонных смесей, которые готовятся по [1] применяются сита с круглыми ячейками до 5 мм. Для асфальтобетонных смесей, которые готовятся по [2] применяются сита с квадратными ячейками.

Также асфальтобетоны, которые готовятся по [2] в своем составе имеют больше щебней в процентном соотношении, что обеспечивает большую каркасную структуру асфальтобетонного покрытия.

С 2021 года на территории города Якутска в рамках реализации национального проекта «Безопасные качественные дороги» применяются новые асфальтобетонные смеси, которые разрабатываются по [3]. С внедрением новых нормативных требований качество выполняемых работ повысилась, в связи с тем, что стало возможно следующее:

1. Применение щебней с узким диапазоном по гранулометрическому составу;
2. При согласовании с заказчиком возможно беспрепятственно применять различные битумные вяжущие.

С внедрением новых нормативных документов появилась возможность без бюрократических проблем внедрять и применять усовершенствованные типы битумных вяжущих, адгезионных добавок в составе асфальтобетонных смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 9128–2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.11.2014. – М.: Стандартинформ, 2019. – 45 с.

2. СП 78.13330.2012. СВОД ПРАВИЛ. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ. Automobile roads. Актуализированная редакция. СНиП 3.06.03-85 – Введ. 01.07.2013. – СПб.: АО "Кодекс". – 94 с.
3. ГОСТ Р 58406.2-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.06.2020. – М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2022. – 37 с.

ПРОЧНОСТЬ И СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРЫ И ПРЕСНОГО ЛЬДА

**Сыромятникова А.С.^{1,2}, Тихонравова Я.В.³, Сыромятников Д.И.², Сибиряков М.М.²,
Иванов А.Р.¹**

¹ИФТПС СО РАН, Якутск, Россия; ²СВФУ, Якутск, Россия; ³ИМЗ СО РАН, Якутск, Россия

a.s.syromyatnikova@mail.ru

“INFLUENCE OF BAZALT FILLER ON STRENGTH AND STRUCTURE FOR COMPOSITE
MATERIALS BASED ON FRESH ICE”

Работа является продолжением предыдущего исследования авторов [1, 2], в котором была разработана технология изготовления массивных (с высотой сечения, сравнимой с толщиной ледового покрова) образцов композиционных материалов на основе льда с применением климатического холода, а также проведены испытания на трехточечный изгиб образцов ледового материала с содержанием 0,8 вес.% базальтовой фибры длиной 40 мм и диаметром 18 мкм с использованием специально собранной для этих целей установки с максимальной испытательной нагрузкой 30 000 Н. Было установлено, что введение базальтовой фибры в указанной концентрации в образцы ледового материала приводит к повышению прочностных характеристик пресного льда в 1,5 раза [1].

Целью настоящей работы являлось установление влияния повышения содержания наполнителя и температуры кристаллизации на прочностные свойства, структуру и время полного оттаивания массивных образцов фиброльда.

Массивные образцы ледового материала в виде балки получали послойным намораживанием водопроводной воды при спокойном ее наливе в опалубку из пенополистирола с внутренними размерами: высота $h = 100$ мм, ширина $b = 500$ мм, длина $L = 870$ мм, в натуральных условиях при естественно низких среднесуточных температурах -45 °С. Наполнитель представлял собой базальтовые волокна длиной 40 мм и диаметром 18 мкм, изготовленные из базальтового ровинга РБ(Т) 18-2400-041М. Для изготовления волокон заданной длины применялся специально для этих целей изготовленный и собранный инструмент.

Изготавливались массивные образцы фиброльда с содержанием наполнителя 2, 4 и 6 %.

Первый и последний слои всех образцов представляли чистый лед высотой 1 мм. Наполнитель укладывался на замерзший нижний слой, равномерно и хаотически распределялся по поверхности ледового слоя и заливался необходимым количеством охлажденной пресной воды.

Прочность на изгиб массивных образцов определяли в натуральных условиях при среднесуточных температурах -45 °С на установке для испытания на трехточечный изгиб, описание которой приведено в работе [1], при этом экспериментально определялась величина разрушающей нагрузки при испытаниях на изгиб по схеме балки на двух опорах $R_{разр}$. Результат принимался как среднее значение по трем испытаниям идентичных образцов. Определяли также время полного оттаивания T образцов при таянии в условиях апреля-мая г. Якутска.

Исследование совместного влияния содержания наполнителя и температуры замораживания на структуру чистого льда и фиброльда проводилось на лабораторных образцах, изготовленных методом послойного намораживания при -50 °С в натуральных условиях и при -18 °С в морозильной лари в силиконовых контейнерах диаметром 200 мм.

Образцы льда были сначала разрезаны на пластинки толщиной 6-10 мм с помощью ленточной пилы. Затем были изготовлены тонкие шлифы льда (0,5-1,0 мм) путем медленного расплавления пластинок льда на нагретой поверхности. Шлифы льда были сфотографированы в поляризованном свете для изучения морфологии и количественной оценки размерности кристаллов. Рассчитанные параметры включали: максимальную диагональ для каждого кристалла (l_{max}); средний диаметр кристаллов (D), который рассчитывается как средний диаметр окружностей, равных по площади кристаллам; среднюю площадь сечения кристалла (S), который определялся с использованием поправочного коэффициента Шумского [3]; коэффициент различия размеров кристаллов в шлифе (C_{diff}), рассчитываемый как отношение максимального периметра кристалла к минимальному (где $C_{diff} \leq 10$ кристаллы, однородные

по размеру, $C_{diff} > 10$ – неоднородные). Погрешность измерений может быть вызвана неточностью при ручной обводке кристаллов и оценивается в $\pm 5\%$.

Экспериментальные результаты показали, что с увеличением содержания наполнителя прочность на изгиб льда возрастает линейно, при этом его время оттаивания T значительно возрастает (табл. 1).

Таблица 1. Прочность на изгиб $\sigma_{изг}$ и время полного оттаивания T неармированного льда и фиброльда

Весовое/объемное содержание наполнителя, %	$P_{разр}$, Н	$\sigma_{изг}$, МПа	T , ч
-	4300 ± 50	$1,00 \pm 0,01$	192
0,8/0,3*	6700 ± 60	$1,56 \pm 0,02$	240
2/0,75	$10\ 125 \pm 100$	$2,27 \pm 0,02$	336
4/1,5	$15\ 750 \pm 150$	$3,54 \pm 0,04$	456
6/2,3	$18\ 000 \pm 180$	$4,04 \pm 0,04$	552

*- данные из [1]

Неармированные образцы льда разрушаются хрупко, а фибролед демонстрирует разрушение по вязкому механизму. Разрушение образцов чистого льда происходит путем быстрого продвижения хрупкой трещины, инициированной в области максимальных растягивающих напряжений, по всей ширине образца. В армированных образцах формируются множественные трещины в области максимальных растягивающих напряжений, дальнейшее разрушение происходит путем их медленного продвижения в направлении, нормальном сечению образца, и их объединении. В образцах с содержанием 6 вес.% наполнителя полного разделения образцов не удалось достичь.

Образцы чистого льда, кристаллизовавшиеся при температуре $-50\ ^\circ\text{C}$, представлены мелкими ($l_{max} = 0,04-0,2$ см) идиоморфными кристаллами. Лед с содержанием волокон 0,8% имеет те же кристаллографические параметры, что и чистый лед, в то время как лед с содержанием волокон 2% имеет немного меньшие размеры кристаллов (табл.2).

Образцы чистого льда, закристаллизовавшиеся при температуре $-18\ ^\circ\text{C}$, представлены относительно длинными ($l_{max} = 0,3-4,3$ см, $D = 1,3$ см) аллотриоморфными кристаллами [4], которые значительно отличаются от описанных выше. Лед с содержанием волокон 2% имеет немногим меньший размер кристаллов ($l_{max} = 0,3-3,3$ см, $D = 0,9$ см) (табл. 2).

Таблица 2. Количественные параметры кристаллов ледовых образцов

Материал	Температура кристаллизации	Параметры			
		l_{max} , см	D , см	S , см ²	C_{diff}
Чистый лед	$-50\ ^\circ\text{C}$	0,04-0,2	0,1	0,01	7
С 0,8% фибры		0,04-0,2	0,1	0,009	4
С 2% фибры		0,02-0,1	0,06	0,003	5
Чистый лед	$-18\ ^\circ\text{C}$	0,3-4,3	1,3	0,6	10
С 2% фибры		0,3-3,3	0,9	0,6	9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Syromyatnikova, A.S. Fracture Laws for Composite Materials Based on Fresh Ice during Testing of Bulky Samples [Text] / A.S. Syromyatnikova, Y.M. Andreev, M.M. Sibiriyakov, // Russian Metallurgy (Metally). – 2023. – Vol. 2023, No. 4. – P. 553-557.
2. Пат.2799567 РФ МПК E01D 15/00. Композиционный материал на основе ледяной матрицы и базальтовой фибры [Текст] / А.С. Сыромятникова, М.М. Сибиряков, Д.И. Сыромятников; заявитель и патентообладатель ФГБУН “Якутский научный центр СО РАН”. – № 2022130808, заявл. 28.11.2022, опублик. 06.07.2023. Бюл. № 19.
3. Шумский, П.А. Основы структурного ледоведения / П.А. Шумский. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 492 с.
4. Tikhonravova, Y.V. Genetic identification of ground ice by petrographic method [Text] / Y.V. Tikhonravova, V.V. Rogov, E. A. Slagoda // Geography, environment, sustainability. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – P. 20-32.

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРОВ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В СТЕКЛОПЛАСТИКЕ В УСЛОВИЯХ РАСТЯГИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

Башков О.В.^{1,2}, Ромашко Р.В.², Безрук М.Н.², Брянский А.А.^{1,2}, Башков И.О.^{1,2}, Ефимов Т.А.^{1,2}, Бобруйко Д.А.²

¹КнАГУ, Комсомольск-на-Амуре, Россия; ²ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия

bashkov_ov@mail.ru

“CHANGES IN THE SPECTRA OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS RECORDED BY FIBER-OPTIC AND PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS IN FIBERGLASS UNDER TENSILE LOAD CONDITIONS”

Метод акустической эмиссии (АЭ) является одним из немногих методов неразрушающего контроля, позволяющих его использовать не только при выполнении периодического контроля, но и в режиме непрерывного мониторинга изделий и конструкций [1]. В практике применения метода АЭ наблюдается тенденция по разработке пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) с лучшими характеристиками защищенности, чувствительности, с частотным диапазоном. Основными требованиями, предъявляемыми к преобразователям, являются компактное исполнение, малый вес, помехозащищенность и амплитудная характеристика. При использовании систем мониторинга АЭ, существенными преимуществами над пьезоэлектрическими датчиками в размерах, весе, влиянии на объект контроля обладают волоконно-оптические датчики (ВОД). В области изменения малых деформаций получили распространение ВОД на дифракционных решетках Брэгга. Интерференционные датчики на основе интерферометров Маха-Цендера, Микельсона и Фабри-Перо получили широкое применение благодаря их высокой чувствительности [2]. Встроенные в структуру полимерных композиционных материалов (ПКМ) оптические волокна могут регистрировать сигналы АЭ, вызванные его повреждениями во время эксплуатации, тем самым являясь датчиками встроенного мониторинга, которые могут быть использованы постоянно или периодически при испытаниях [3].

Работа посвящена исследованию ВОД на адаптивных лазерных голографических интерферометрах, в качестве чувствительных элементов которых применяются оптические волокна для волоконно-оптических линий связи. В качестве измерительной системы используется лазерный интерферометр Маха-Цендера, в котором взаимодействие опорного и сигнального лучей происходит в фоторефрактивном кристалле, в котором динамическая перезапись голограмм обеспечивает подавление низкочастотных помех, что делает интерферометр адаптивным.

В любом материале под действием нагрузки изменяются упругие свойства, которые влияют на изменение скорости звука, частоты распространяющихся волн. В работе проведены исследования волн АЭ, распространяющихся в образце ПКМ, подвергаемом растяжению, и регистрируемых ВОД, встроенным в структуру образца, и ПЭП, установленным на образце вблизи захвата испытательной машины. Волны АЭ возбуждались изломом грифеля карандаша твердостью 2Н (источник Су-Нильсена) в средней части образца размерами рабочей части 3x10x60. Регистрация сигналов ВОД и ПЭП выполнялась цифровым осциллографом. Сигналы с адаптивного интерферометра ВОД регистрировались фотодетектором PDA36Ф. В качестве ПЭП использовался широкополосный преобразователь GT301, сигнал с которого усиливался усилителем с коэффициентом усиления 40 дБ. Нагружение образцов выполнялось ступенчато с шагом 2500 Н до 12500 Н [4].

Осциллограммы сигналов, зарегистрированных на различных уровнях напряжения, приведены на рис. 1. Учитывая неравномерность АЧХ и высокую чувствительность ПЭП в полосе 50-550 кГц, а также полосу пропускания усилителя 20 кГц-1 МГц и его, сигналы имели достаточно короткую длительность, не превышающую 0,8 мс (рис. 1а). ВОД имеет значительно большую равномерность АЧХ, хоть она и определяется такими параметрами, как частота среза, зависящая от времени перезаписи голограммы в фоторефрактивном кристалле, полоса фотодетектора и характеристика чувствительного элемента, встроенного в структуру композита (рис. 1б). Анализ сигналов, зарегистрированных датчиками на различных этапах нагружения, выполнялся по спектрам вейвлет-декомпозиции, выполненной на основе вейвлета Добеши 14 порядка. Анализировались 7 уровней дискретного вейвлет-разложения. Более сложная тенденция изменения спектра частотных компонент, связанная с повышением растягивающей нагрузки в образце, наблюдается в сигналах АЭ, зарегистрированных ПЭП.

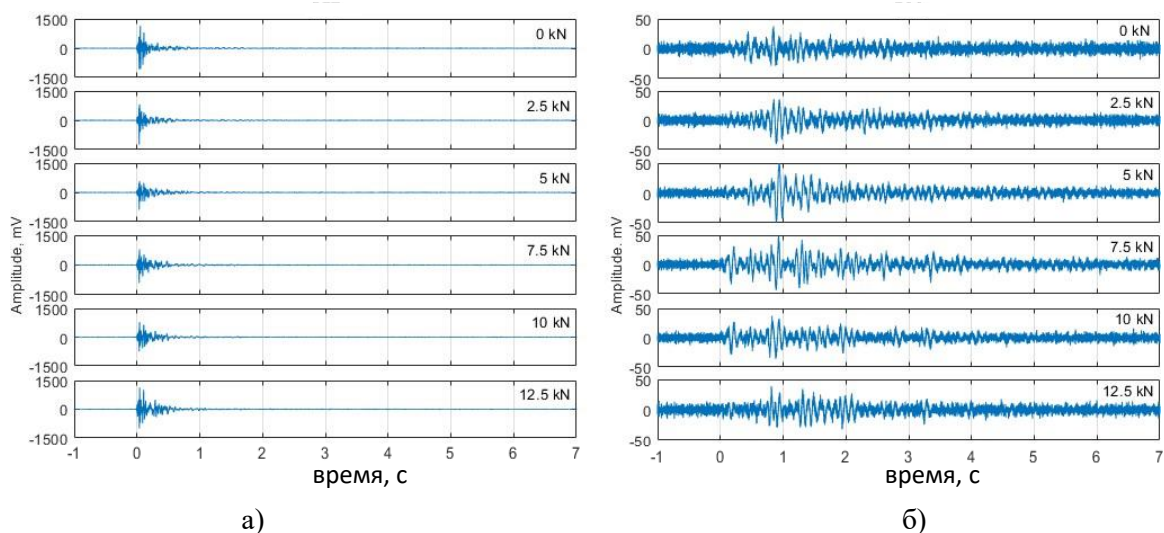


Рисунок 1 – Осциллограммы сигналов АЭ, зарегистрированных ПЭП (а) и ВОД (б) на различных этапах нагружения

Высокая чувствительность ПЭП в широком частотном диапазоне позволяет регистрировать симметричную и антисимметричную волны. Поэтому при нагрузке до 5000 Н на спектрах наблюдается два выраженных максимума: в диапазоне, близком к 15 кГц, и близком к 125 кГц. Увеличение нагрузки приводит к снижению максимума в частотном диапазоне, близком к 125 кГц, и возрастанию энергии спектра в диапазоне 30-80 кГц. При достижении нагрузки 12500 Н максимумы в низко и высокочастотном диапазонах уже не наблюдаются.

Для сигналов АЭ, регистрируемых ВОД, наблюдается более равномерный спектр с минимумом магнитуды в диапазоне 60-100 кГц, что связано с АЧХ лазерного интерферометра. При этом, частотные компоненты низких порядков (15-62 кГц) повышаются до нагружающего усилия 7500 Н, после чего снижаются на 10000 Н и опять повышаются при нагружении до 12500 Н. Доля энергии, вносимой в сигнал каждой из частотных компонент диапазона от 15 до 62 кГц последовательно снижается с повышением частоты спектрального диапазона.

Наиболее близкие тенденции изменения энергии сигналов, регистрируемых ПЭП и ВОД и вызванных изменением действием в образце ПКМ растягивающего напряжения, наблюдается для частотных диапазонов 31-62 кГц и 250-500 кГц.

Хотя немонотонный характер изменения спектров осложняет учет параметров сигналов регистрируемых ВОД и ПЭП при идентификации источников повреждений, генерирующих волны АЭ, установление соответствующей закономерности может позволить определять по изменению спектра сигналов действующие в нагружаемом материале напряжения. Это может оказаться полезным при мониторинге повреждений особо ответственных сооружений, когда возможны критические изменения в действующей нагрузке.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (проект НШ-452.2022.4 – исследование критериев разрушения) и Российского научного фонда (проект № 21-19-00896 – разработка датчика и проведение его испытаний).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Capineri, L. Ultrasonic guided-waves sensors and integrated structural health monitoring systems for impact detection and localization: A review [Text] / L. Capineri, A. Bulletti // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21, No. 9. – P. 2929.
2. Wei, H. Broadband Fiber-Optic Acoustic Sensors [Text] / H. Wei, Z. Gong, W. Wu // *Journal of Lightwave Technology*. – 2022. – Vol. 40, No. 12. – P. 4033-4041.
3. Stepanov L. N., Kabanov S. I., Chernova V. V. Locating Acoustic Emission Signals Due to Shock Impacts on a Carbon Fiber Sample Using Piezoelectric and Fiber Optic Sensors [Text] / L.N. Stepanova, S.I. Kabanov, V. V. Chernova // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2022. – Vol. 58, No. 4. – P. 237-247.
4. Bashkov, O.V. Registration of Acoustic Emission Signals in Polymer Composite Material during Its Destruction by Means of Embedded Adaptive Fiber-Optic Sensor [Text] / O.V. Bashkov, A.A. Bryansky, M.N.

МЕТОДОЛОГИЯ И СИСТЕМА ПРОГРАММ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ИХ ВЯЗКОУПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Хохлов А.В.^{1,2}

¹НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ²СВФУ, Якутск, Россия

andrey-khokhlov@ya.ru

“METHODODOLOGY AND SYSTEM OF PROGRAMS FOR QUASI-STATIC TESTS OF POLYMERS AND COMPOSITES FOR A COMPREHENSIVE STUDY OF THEIR VISCOELASTIC PROPERTIES”

Задачи всестороннего экспериментального изучения вязкоупругопластических свойств материалов (полимеров, металлов и сплавов, композитов с разными типами матриц и наполнителей) при разных температурах и режимах нагружения, создания (удобного для пользователей) банка этих свойств в виде наборов кривых испытаний по разным базовым и специальным программам нагружения и наблюдаемых эффектов, а не только нескольких простейших скалярных характеристик (модуль упругости, предел прочности при растяжении, сжатии или изгибе, деформация при разрушении), проблема выбора адекватного определяющего соотношения (ОС) и надежного моделирования процессов деформирования и разрушения, длительной прочности и долговечности материалов и элементов конструкций с учётом физической и геометрической нелинейностей, наследственности и скоростной чувствительности по-прежнему остаются актуальными в механике, материаловедении и практике инженерных расчётов. Из-за быстрого роста количества новых материалов и моделей для описания их поведения и повышения требований к весу, размерам, удельной прочности, долговечности, надёжности и экономичности элементов конструкций и механизмов, первостепенную роль играют вопросы построения или выбора (из сотни существующих) адекватных ОС, анализа и паспортизации их свойств, возможностей и области применимости, сфер влияния их материальных функции (МФ) и феноменологических ограничений на них. С этим вопросом тесно связаны задачи разработки информативных, но экономичных комплексных программ испытаний образцов материала (желательно не слишком длительных и многочисленных), методик определения МФ и параметров ОС по их результатам и верификации ОС (см. статьи [1-11] и др., посвященные анализу, аттестации и идентификации пяти нелинейных ОС вязкоупругопластичности и линейного ОС вязкоупругости Больцмана-Вольтерры). В силу своей сложности, большого количества испытаний, необходимых для исследования вязкоупругопластических (а не только упругих) свойств материалов, сложности анализа данных испытаний в виде семейств кривых и многочисленности разнообразных ОС, предложенных в научной литературе для описания тех или иных конкретных материалов (при конкретных видах нагружений), многие из этих вопросов недостаточно разработаны, а порой просто игнорируются и подменяются слабо наполненными физикой, химией и механикой вычислительными схемами. Это нередко приводит к недостоверности результатов моделирования (и модных ныне «цифровых двойников»), опирающихся на малое количество простейших испытаний определенного типа и не способных описать комплекс основных эффектов, и укоренению неверных представлений как в научной литературе, так и в инженерной практике.

Моделирование поведения полимеров и композитов (КМ) в рамках линейной (анизотропной) теории упругости допустимо лишь в области достаточно малых напряжений, деформаций и невысоких температур (ниже температуры стеклования полимера или аналогичных характерных температур для матриц иного состава). Даже в этой области поведение КМ осложняется такими явлениями как анизотропия упругих и прочностных свойств и разносопротивляемость (при одноосных испытаниях на растяжение и сжатие она может проявляться как разномодульность или как различие кривых деформирования или ползучести при растяжении и сжатии не на начальном участке, а при более длительном деформировании). Даже при невысоких температурах и нагрузках полимеры и КМ проявляют не только упругие свойства, но и вязкоупругопластические, реономные, они проявляют выраженную зависимость свойств от времени, скорости нагружения, истории деформирования. Для их поведения свойственны такие эффекты как ползучесть, обратная ползучесть, релаксация напряжений, скоростная чувствительность диаграмм нагружения, непрямолинейная ветвь разгрузки, остаточная деформация и ее накопление при циклических нагружениях, выраженная нелинейность поведения (нелинейность зависимостей семейств кривых нагружения, ползучести и релаксации от скорости

нагружения и уровней нагрузки) и т.п. Поэтому, вместо характеристики материала только тензором его упругих модулей и прочностными характеристиками (пределы прочности и предельные деформации при растяжении, сжатии, сдвиге), возникает необходимость изучения всего комплекса указанных явлений, проведение испытаний образцов материала по базовым и специально разработанным программам нагружения или деформирования при разных параметрах нагружений (уровнях температуры, нагрузки, деформации, скоростей деформации или нагружения, длительностей стадий нагружения по составным программам, скачков температуры или нагрузки и т.п.) и внесение в «паспорт» материала всех семейств кривых-откликов на обязательные и дополнительные программы нагружения, отражающих зависимость этих откликов от времени и параметров нагружения: кривых ползучести, обратной ползучести, релаксации, кривых деформирования с постоянными скоростями нагружения или деформации, кривых нагружения-разгрузки, кривых циклического нагружения при разных параметрах циклов, кривых ползучести при ступенчатом нагружении и др.

В докладе описаны цели и система программ квазистатических испытаний полимеров и композитов для всестороннего изучения их вязкоупругопластических свойств (всего комплекса наблюдаемых в испытаниях эффектов) и методология анализа данных испытаний и выбора адекватных определяющих соотношений для их моделирования. В частности, формулируются и обсуждаются признаки физической нелинейности поведения материалов, т.е. индикаторы неприменимости линейного интегрального соотношения вязкоупругости Больцмана-Вольтерры, которые можно обнаружить в испытаниях по разным программам нагружения, способы очертить диапазон линейности поведения вязкоупругого материала.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ, грант № FSRG-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хохлов, А.В. Определяющее соотношение для реологических процессов: свойства теоретических кривых ползучести и моделирование затухания памяти [Текст] / А.В. Хохлов // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2007. – №. 2. – С. 147-166.
2. Хохлов, А.В. Критерии разрушения при ползучести, учитывающие историю деформирования, и моделирование длительной прочности [Текст] / А.В. Хохлов // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2009. – №. 4. – С. 121-135.
3. Хохлов, А.В. Нелинейная модель вязкоупругопластичности типа Максвелла: общие свойства семейства кривых релаксации и ограничения на материальные функции [Текст] / А.В. Хохлов // Вестник Московского государственного технического университета им. НЭ Баумана. Серия «Естественные науки». – 2017. – №. 6(75). – С. 31-55.
4. Хохлов, А.В. Анализ общих свойств кривых ползучести при циклических ступенчатых нагружениях, порождаемых линейной теорией наследственности [Текст] / А.В. Хохлов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физико-математические науки. – 2017. – Т. 21, №. 2. – С. 326-361.
5. Хохлов, А.В. Идентификация нелинейной модели упруговязкопластичности типа Максвелла по кривым ползучести с начальной стадией нагружения. Часть 2. Методики [Текст] / А.В. Хохлов // Деформация и разрушение материалов. – 2017. – №. 10. – С. 2-9.
6. Хохлов, А.В. Двусторонние оценки для функции релаксации линейной теории наследственности через кривые релаксации при гап-деформировании и методики её идентификации [Текст] / А.В. Хохлов // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2018. – №. 3. – С. 81-104.
7. Khokhlov, A.V. Analysis of properties of ramp stress relaxation curves produced by the Rabotnov nonlinear hereditary theory [Text] / A.V. Khokhlov // Mechanics of Composite Materials. – 2018. – Vol. 54. – P. 473-486.
8. Хохлов, А.В. Свойства семейства диаграмм деформирования, порождаемых нелинейным соотношением Ю.Н. Работнова для вязкоупругопластичных материалов [Текст] / А.В. Хохлов // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2019. – №. 2. – С. 29-47.
9. Хохлов, А.В. Анализ влияния объемной ползучести на кривые нагружения с постоянной скоростью и эволюцию коэффициента поперечной деформации в рамках линейной теории вязкоупругости [Текст] / А.В. Хохлов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физико-математические науки. – 2019. – Т. 23, №. 4. – С. 671-704.
10. Khokhlov, A.V. Generalization of a nonlinear Maxwell-type viscoelastoplastic model and the simulation of creep recovery curves [Text] / A.V. Khokhlov // Mechanics of Composite Materials. – 2023. – Vol. 59, No. 3. – P. 441-454.

11. Хохлов, А.В. Анализ свойств нелинейной модели сдвигового течения тиксотропных сред, учитывающей взаимное влияние эволюции структуры и процесса деформирования [Текст] / А.В. Хохлов, В.В. Гулин // Физическая мезомеханика. – 2023. – Т. 26, №. 4. – С. 41-63.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ, НАНЕСЁННЫХ НА ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННЫЙ ПИРОЛИТИЧЕСКИЙ ГРАФИТ, МЕТОДАМИ РФЭС И СТМ

**Федоров А.Ю., Бухтияров А.В., Панафидин М.А., Просвирин И.П., Zubavichus Я.В.,
Бухтияров В.И.**

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

afedorov@catalysis.ru

“XPS/STM STUDY OF THE STRUCTURE OF BIMETALLIC NANOPARTICLES SUPPORTED ON HIGHLY ORIENTED PYROLYTIC GRAPHITE”

В настоящее время исследования в области гетерогенного катализа активно развиваются в направлении разработки методов целенаправленного формирования активных центров. Одним из возможных способов управления их структурой является использование биметаллических систем. Так, добавление второго металла позволяет изменять геометрию и электронную структуру активных центров (так называемые геометрический и лигандный эффекты), что, в свою очередь, зачастую приводит к более высокой стабильности, активности и/или селективности биметаллических образцов по отношению к их монометаллическим аналогам. В результате биметаллические катализаторы находят широкое применение в различных процессах, представляющих промышленный интерес (селективное гидрирование алкинов, низкотемпературное окисление монооксида углерода, реакция восстановления кислорода и многие другие).

Поскольку каталитические процессы протекают на поверхности гетерогенного катализатора, важную роль играет распределение элементов внутри биметаллических наночастиц и их взаимное расположение на поверхности. При этом на строение наночастиц оказывают влияние внешние факторы, такие как температура и наличие определённой газовой среды, ввиду чего установление закономерностей действия данных факторов может служить ключом к управляемой модификации структуры поверхности функционирующего катализатора. Так или иначе, систематическое исследование реальных биметаллических катализаторов современными физико-химическими методами, такими как рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) и сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), часто затруднено из-за их сложной морфологии и низкого содержания активного компонента, что обуславливает использование для таких задач модельных систем, состоящих из биметаллических наночастиц, нанесённых на плоский проводящий носитель, например, монокристалл высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ). Стратегия исследования таких систем, как правило, сочетает микроскопию, позволяющую охарактеризовать топографию поверхности образца и распределение наночастиц по размерам, и поверхностно-чувствительный спектроскопический метод, подходящий для идентификации химического состояния и концентрации элементов на поверхности.

Данная работа посвящена изучению закономерностей формирования биметаллических наночастиц, нанесённых на высокоориентированный пиролитический графит, и исследованию эволюции их строения в результате воздействия газовой среды и термической обработки с помощью методов РФЭС и СТМ. Так, возможность управления поверхностной структурой биметаллических наночастиц была исследована для двух биметаллических систем с разным типом структурного упорядочения, имеющих широкое применение в гетерогенном катализе: твёрдого раствора замещения (Pd-Au) и интерметаллического соединения (Pd-In) [1]. В случае системы Pd-Au/ВОПГ обработка образца в атмосфере монооксида углерода приводила к поверхностной сегрегации атомов палладия (эффект адсорбционно-индуцированной сегрегации), усиливающейся при повышении температуры, в то время как для образца Pd-In/ВОПГ заметных изменений в строении при аналогичной обработке не наблюдалось. Различие в поведении двух разных типов биметаллических систем было связано с разной природой связей между атомами разных элементов в них: так, связи между Pd и In имеют повышенную степень ковалентности и обладают заметно большей энергией по сравнению со связями в Pd-Au образцах. Кроме того, поскольку сегрегация металлов в биметаллических системах предполагает диффузию атомов сегрегирующего элемента к поверхности, в основном, по вакансионному механизму, критически важными являются энергетическая и стерическая доступность вакансий в структуре наночастиц. Из-за разного размера атомов Pd и In, а также строгой стехиометричности

интерметаллического соединения доступность вакансий в Pd-In наночастицах затруднена, в то время как в твёрдом растворе замещения Pd-Au со случайным распределением элементов по объёму вероятность нахождения атомов сегрегирующего элемента и соответствующих ему вакансий в соседних позициях велика, что должно существенно облегчать процесс диффузии. Таким образом, для катализаторов на основе Pd и Au в качестве метода тонкой настройки поверхностной структуры можно использовать обработку в атмосфере CO, позволяющую увеличить концентрацию атомов палладия на поверхности. Такая сегрегация металлов может повлиять на каталитические характеристики данной биметаллической системы и дать значимый экономический эффект при условии реализации процесса в промышленных масштабах.

Возможность контролируемой модификации строения биметаллических наночастиц в результате термической обработки была изучена на примере системы Pt-Ag/ВОПГ, представляющей существенный интерес в области электрокатализа [2]. Комбинацией методов РФЭС и СТМ было показано, что обработка биметаллического образца с обогащённой серебром поверхностью до 300 – 400 °С не приводит к изменению степени смешения компонентов ввиду термодинамически выгодной локализации атомов серебра на поверхности наночастиц. Повышение температуры обработки вызывает неконтролируемую сублимацию серебра и разрушение структуры биметаллических наночастиц, а увеличение её длительности ведёт к фазовой сегрегации с образованием отдельных монометаллических наночастиц серебра. Таким образом, термическая обработка наночастиц на основе Pt и Ag не приводит к каким-либо значимым изменениям в строении самих наночастиц, вызывая лишь разрушение их структуры. Результаты данного исследования необходимо учитывать при проведении температурной обработки систем, содержащих Pt-Ag биметаллические катализаторы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ совместно Институтом катализа СО РАН (проект АААА-А21-121011390011-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Fedorov, A.Yu. The effect of CO treatment on the surface structure of bimetallic Pd-Au/HOPG and Pd-In/HOPG nanoparticles: A comparative study [Text] / A.Yu. Fedorov, A.V. Bukhtiyarov, M.A. Panafidin [et al.] // Nano-Structures & Nano-Objects. – 2022. – Vol. 29. – P. 100830:1-10.
2. Fedorov, A.Yu. Alloying bulk-immiscible metals at the nanoscale: an XPS/STM study of bimetallic Ag-Pt/HOPG nanoparticles [Text] / A.Yu. Fedorov, A.V. Bukhtiyarov, M.A. Panafidin [et al.] // Applied Surface Science. – 2023. – Vol. 636. – P. 157872:1-13.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАТЕКСНЫХ КОМПОЗИТОВ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОРАЗМЕРНЫЙ НИТРИД БОРА И ОКСИДА ТИТАНА

Неустроева О.С., Петрова Н.Н.

СВФУ, г. Якутск, Россия

oneustroeva38@gmail.com

“INVESTIGATION OF LATEX COMPOSITES CONTAINING NANOSCALE BORON NITRIDE AND TITANIUM OXIDE”

В настоящее время большое внимание привлекают новые высокоэффективные материалы, предназначенные для использования в медицинской практике. К их числу относятся материалы для медицинских изделий, обладающих антимикробной активностью. Латекс широко применяется в области медицины. В первую очередь, применяется для производства медицинских перчаток, катетеров и в качестве оболочек различного назначения. Антибактериальное покрытие, нанесенное на внутреннюю поверхность, создает пленку и позволяет ограничить или предотвратить рост и размножение микроорганизмов.

В работах [1, 2] покрытия из нитрида бора и оксида титана были использованы для получения простых, недорогих и эффективных антибактериальных покрытий, обладающих высокой антибактериальной активностью и для борьбы с бактериями штаммов *S. Aureus*, *E. coli* K-26 и *Neurospora crassa*. Предполагалось, что их введение, как антифрикционных материалов снизит коэффициент трения латексной пленки и проявит антибактериальные свойства, что может быть полезно для медицинских изделий.

В работе приводятся результаты влияния гексагонального нитрида бора (ТУ У 26.8-00222226-007-2003) и оксида титана (ГОСТ 9808-84) на свойства и структуру натурального латекса марки

«Ревультекс». Оксид титана предварительно активировали на планетарной мельнице АГО-1 в течение 1 минуты. Массовые соотношения композитов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Массовые соотношения композитов

№	Ингредиенты	Состав масс. частей композитов				
		1	2	3	4	5
1	Латекс «Ревультекс»	100	99	97	95	95
2	Гексагональный нитрид бора	-	1	3	-	-
3	Диоксид титана	-	-	-	5	-
4	Активированный диоксид титана	-	-	-	-	5

Нами было отработано две технологии получения пленок из латекса: метод простого высушивания - пленкообразование при испарении воды из тонкого слоя латексной композиции и метод ионного отложения-пленкообразование под воздействием коагулянтов, нанесенных на поверхность форм [3].

Исследования размеров частиц и дзета-потенциалов проводили на анализаторе размера частиц Zetasizer Nano ZS Malvern согласно ГОСТ Р 8.606-2004. Испытания на упруго-прочностные свойства проводили на машине Autograph AGS-J (Shimadzu, Japan) при скорости движения подвижных захватов 500 мм/мин согласно ГОСТ 11262-2017. Съемку ИК-спектров латексных пленок проводили на ИК-спектрометре i-Red 7800u-L и снимали при разрешении 4 в режимах пропускания, диапазон 4000-500.

По полученным результатам размеров частиц и дзета-потенциалов было установлено, что смесь латекса и 5% мас.ч. оксида титана характеризуется самыми крупными размерами частиц, напротив, латекс с 3% содержанием нитрида бора самыми маленькими. Также было выявлено, что наиболее устойчивой системой выступает система латекса с активированным оксидом титана, а наименее – с оксидом титана.

Результаты исследований физико-механических свойств латексных пленок с разными наполнителями представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства латексных пленок

Образец	Относительное удлинение при разрыве, %	Прочность при растяжении, МПа
Исходный латекс «Ревультекс»	2241	40,3
Латекс + 1% BN	2005	29,3
Латекс + 3% BN	2127	38,5
Латекс + 5% м.ч.	1946	6,8
Латекс + акт 5% м.ч.	2135	39,3

Как видно, образец, соответствующий содержанию нитрида бора 1%, имеет значительно более низкие значения, чем другие образцы, содержащие нитрид бора. По-видимому, это связано с наличием дефектов на рабочем участке. Введение нитрида бора в количестве 3 мас. % приводит к некоторому уменьшению условной прочности при разрыве, однако не выходят за пределы погрешности. При введении 5 мас.ч. наблюдается сильное снижение прочности до 6,8 МПа, в то время как при введении такого же количества активированного оксида титана прочность практически не менялась. Это подтверждает важность хорошего измельчения ингредиентов латексной смеси.

ИК-спектры латексных пленок с различными наполнителями не сильно отличаются друг от друга, что связано с их низким содержанием. ИК-спектр исходного латекса марки «Ревультекс» представлен на рис. 1.

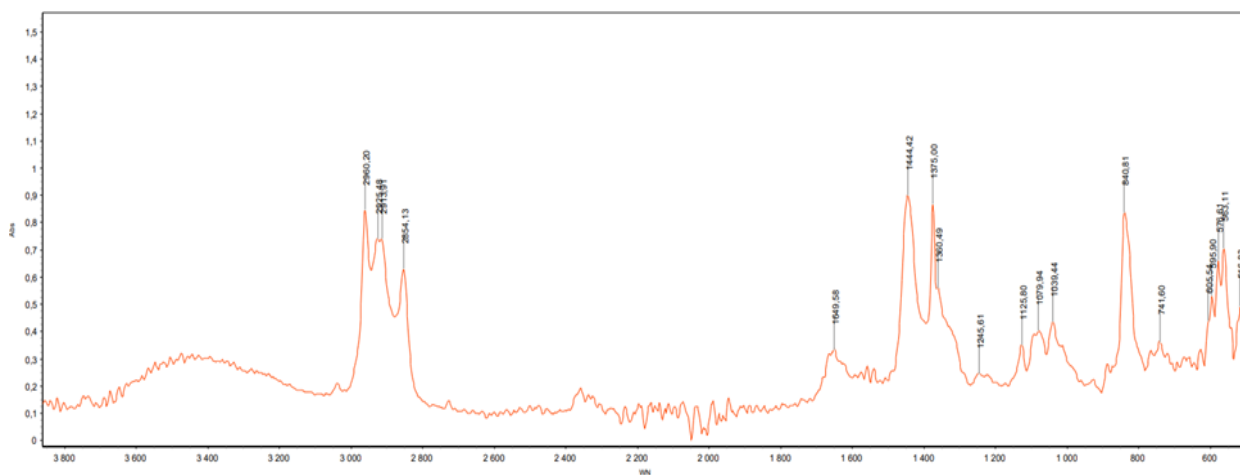


Рисунок 1 – ИК-спектр исходного латекса «Ревультекс»

В исходном латексе «Ревультекс» помимо характерных для полимера пиков были обнаружены пики, указывающие на содержание аминокислот и сложных эфиров. Их присутствие подтверждают следующие пики на определенных длинах волн: ~3283 ν N-H аминокислота, а именно, белки, 1748-1738 ν -C(=O)-O- сложный эфир, ~1630 ν -(C=O)-NH-, ~1541 β N-Y + ν C-N, 1246-1241 τ , 1090-1084 τ [4].

Таким образом, приходя к заключению, установлено, что наиболее устойчива система латекса с активированным оксидом титана, а наименее – с оксидом титана. Механоактивация в планетарной мельнице оксида титана привела к получению более прочных пленок, чем с исходным оксидом титана. Это подтверждает важность хорошего диспергирования ингредиентов латексной смеси. В состав исходного латекса «Ревультекс» входят аминокислоты и сложные эфиры.

Работа выполнена в рамках проекта FSRG-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gudz, K.Y. Pristine and antibiotic-loaded nanosheets/nanoneedles-based boron nitride films as a promising platform to suppress bacterial and fungal infections [Text] / K.Y. Gudz, E.S. Permyakova, A.T. Matveev [et al.] // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2020. – Vol. 12, №. 38. – P. 42485-42498.
2. Абдулагатов, А.И. Синтезирование и антибактериальные свойства тонких модифицированных нанопленок TiO₂ [Текст] / А.И. Абдулагатов, Р.Р. Амашаев, А.М. Максумова, [и др.] // Экологическая медицина. – 2019. – Т. 2, №. 1. – С. 96-106.
3. Агаянц, И.М. Латексы общего назначения. Большой справочник резинщика. Ч. 1. Каучуки и ингредиенты [Текст] / Агаянц, И.М. [и др.]. – 2012. – С. 457-464;
4. Rolere, S. Investigating natural rubber composition with Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy: A rapid and non-destructive method to determine both protein and lipid contents simultaneously [Text] / S. Rolere, S. Liengprayoon, L. Vaysse [et al.] // Polymer Testing. – 2015. – Vol. 43. – P. 83-93.

МЕТАМОРФОЗЫ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И РАЗРАБОТКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Хатинов С.А.

ООО НПП «Арфлон», Москва

sakh@mail.ru

“METAMORPHOSES OF THE MICROSTRUCTURE OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE AND DEVELOPMENT OF NEW MATERIALS FOR OPERATION IN ARCTIC CONDITIONS”

Интерес к разработке материалов на основе ПТФЭ для эксплуатации в условиях Арктики связан с его способностью к пластической деформации и отсутствием охрупчивания в области криогенных температур. ПТФЭ является самым морозостойким полимерным материалом антифрикционного и уплотнительного назначения. Введение наполнителей в ПТФЭ позволяет повысить присущую ему чрезвычайно низкую износостойкость и снизить ползучесть за счет частичного блокирования внутриламеллярного скольжения. Однако существует проблема значительного отклонения

механических характеристик от аддитивных значений, связанных с несовместимостью компонентов, отсутствием смачивания частиц наполнителя полимером и общим увеличением пористости системы.

ПТФЭ обладает множеством нетипичных для полимеров проявлений макроскопических свойств, являющихся следствием нетипичной микроструктуры. К числу необычных свойств относятся высокая ползучесть (сверхпластичность), пороговый переход к хрупкому разрушению при увеличении скорости деформирования, значительное увеличение коэффициента трения (в 5-6 раз) и пороговый переход к сверхвысокому износу с увеличением скорости скольжения, аномально низкая радиационная стойкость, отсутствие перехода в жидкоподобное состояние, нерастворимость и др. Перечисленные особенности и их связь с микроструктурой полимера до сих пор являются дискуссионными и не нашли удовлетворительного объяснения, что является препятствием для разработки материалов с высоким ресурсом эксплуатации в экстремальных условиях Арктики.

В докладе обсуждаются особенности микроструктуры, определяющие нетипичные проявления свойств ПТФЭ, в том числе вопросы, связанные с фибриллярным строением, размером кристаллических доменов, тонкой структурой ламелей, механизмом деламинации при трении и др. Рассмотрены результаты исследований ПТФЭ с использованием методов ДСК, широко- и малоугловой рентгеновской дифракции, электронной микроскопии высокого разрешения, механики и трибологии. Предлагается систематика надмолекулярных структур ПТФЭ на нано- и мезоуровне и последовательность их взаимопревращений при термическом и радиационном воздействии [1-5].

В основе интерпретации взаимопревращений элементов микроструктуры ПТФЭ лежит установленный авторами факт сохранения фибриллярной упаковки макромолекул выше температуры плавления кристаллических доменов и способность фибрилл к самопроизвольной переориентации при снижении вязкости полимерной матрицы. Установленные закономерности позволяют объяснить ряд необычных свойств ПТФЭ и способствуют созданию на его основе новых материалов с улучшенными свойствами.

Воздействие радиации позволяет решить проблему несовместимости ПТФЭ с наполнителями независимо от их природы. В докладе обсуждается механизм радиационного модифицирования ПТФЭ, приводящий к глубокой перестройке надмолекулярной структуры, переходу от ламеллярной к радиально-симметричной структуре, увеличению адгезионного взаимодействия наполнителей с полимером. Результатом радиационного модифицирования ПТФЭ и композитов является высокое снижение ползучести (до 3-4 порядков), увеличение модуля упругости и твердости (до 2-3 раз), повышение износостойкости (до 4-5 порядков), радиационной стойкости (до 2 порядков) [6-9].

Разработанные композиты на основе ПТФЭ обладают высокими эксплуатационными характеристиками и имеют широкие перспективы применения в экстремальных условиях Арктики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хатипов, С.А. Модифицирование микроструктуры ПТФЭ в сверхкритической среде [Текст] / С.А. Хатипов, Н.В. Садовская, А.С. Авилов, Р.С. Хатипов, В.М. Бузник // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2022. – №. 12. – С. 70-79.
2. Khatipov, S.A. Radiation modification of polytetrafluoroethylene [Text] / S.A. Khatipov, S.A. Serov, V.M. Buznik // in Book: Opportunities for Fluoropolymers. Synthesis, Characterization, Processing, Simulation and Recycling / Ed. B. Ameduri, S. Fomin. Elsevier. – 2020. – Ch. 6. – P. 137-188.
3. Хатипов, С.А. Влияние облучения на молекулярную и надмолекулярную структуру ПТФЭ [Текст] / С.А. Хатипов // в Кн. Фторполимерные материалы / отв. ред. академик В.М. Бузник. – Томск: Изд-во НТЛ, 2017. – Гл. 8. – С. 339-393.
4. Обвинцев, А.Ю. Механизм влияния гамма- облучения на поверхностные свойства политетрафторэтилена [Текст] / А.Ю. Обвинцев, С.А. Серов, Н.В. Садовская, С.А. Хатипов, В.М. Бузник // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2018. – №. 10. – С. 52-58.
5. Садовская, Н.В. Влияние облучения на межфазное взаимодействие и структурообразование в композитах ПТФЭ [Текст] / Н.В. Садовская, А.Ю. Обвинцев, Р.С. Хатипов, Д.И. Селиверстов, С.А. Хатипов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2016. – №. 9. – С. 1-8.
6. Хатипов, С.А. Исследование надмолекулярной структуры ПТФЭ с использованием двухстадийного химического травления поверхности [Текст] / С.А. Хатипов, Н.В. Садовская, А.Ю. Обвинцев, А.Н. Касаткин // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2015. – №. 10. – С. 1-12.

7. Обвинцев, А.Ю. Влияние гамма-облучения на поверхностные и объемные свойства политетрафторэтилена [Текст] / А.Ю. Обвинцев, Н.В. Садовская, С.А. Хатипов, В.М. Бузник // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2017. – № 9. – С. 52–60.
8. Khatipov, S.A. Effect of PTFE irradiation above the melting point on its porosity [Text] / S.A. Khatipov, S.P. Kabanov, E.M. Konova, S.A. Ivanov, S.A. Serov // Radiation Physics and Chemistry. – 2012. – Vol. 81, No. 3. – P.273-277.
9. Konova, E.M. Mechanical and Optical Properties of Polytetrafluoroethylene Treated by γ -Irradiation near the Melting Point [Text] / E.M. Konova, Yu.E. Sakhno, S.A. Khatipov, V.G. Klimenko, S.T. Sychkova, T.V. Sakhno // Physics and Chemistry of Solid State. – 2011. – Vol. 12, No. 4. – P. 1013-1017.

Секция № 2: Технологии переработки природных энергоносителей и углеродных материалов

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧЕСКОГО ЦЕОЛИТА FAU-ТИПА ПО ОТНОШЕНИЮ К ТЯЖЕЛЫМ МЕТАЛЛАМ И ОПАСНЫМ РАДИОНУКЛИДАМ

Зернов Я.Г., Иванов Н.П., Писарев С.М., Мармаза П.А.

ДВФУ, Владивосток, Россия

zernov.yaroslav2017@gmail.com

“STUDY OF THE SORPTION CHARACTERISTICS OF SYNTHETIC FAU-TYPE ZEOLITE IN RELATION TO HEAVY METALS AND DANGEROUS RADIONUCLIDES”

В условиях Арктики особенно важны альтернативные способы получения энергии, особенно ядерная энергетика. В связи с этим крайне важным направлением исследований является разработка перспективных сорбционных материалов для удаления радионуклидов из жидких сред и переработки жидких радиоактивных отходов атомных электростанций.

Алюмосиликатные материалы обладают уникальными свойствами, которые делают их перспективными для применения в различных областях, включая удаление радионуклидов и тяжелых металлов из жидких сред. Наши исследования направлены на разработку эффективных сорбентов с целью улучшения процессов очистки жидких сред от вредных веществ. Была проведена комплексная оценка полученного NaY Faujasite Zeolite для определения его эффективности в извлечении различных катионов, таких как Cs⁺, Sr²⁺, Co²⁺, Pb²⁺ и La³⁺, а затем фиксации Cs⁺, Sr²⁺, Co²⁺, Pb²⁺ в стабильные керамические матрицы.

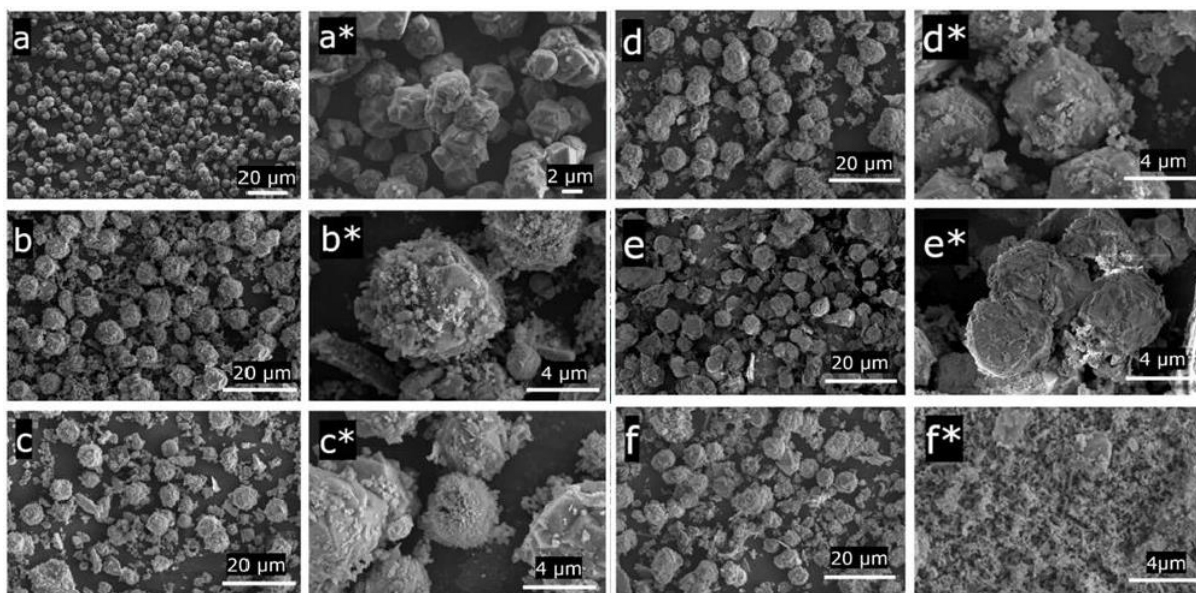
Для определения эффективности в извлечении вышеупомянутых катионов мы провели анализ сорбционных свойств, фазового и элементного состава исходных и насыщенных образцов (EDS, XRD), оценили морфологию поверхности (SEM), провели исследование структурно-дисперсных характеристик (BET, DFT, BJH), определили параметры термической устойчивости (DTA, TGA, DSK) и рассмотрели влияние катионов на температуру плавления цеолита. Данные исследования подтверждают, что NaY Faujasite Zeolite может быть успешно использован в качестве эффективного сорбента для Cs⁺, Sr²⁺, Co²⁺, Pb²⁺ и La³⁺.

Синтез цеолита NaY с требуемым соотношением SiO₂/Al₂O₃ пределах 8.5–10.5 заключался в гидротермальной кристаллизации алюмокремнегеля (гидрогеля). Гидрогель был приготовлен смешением щелочного раствора сульфата алюминия с раствором жидкого стекла. К 10 мл дистиллированной воды поочередно порциями приливали 0,45 М Al₂(SO₄)₃·18H₂O раствор и 0,84 М Na₂SiO₃·5H₂O раствор в объемном соотношении 1:9. Полученный гидрогель интенсивно перемешивали на магнитной мешалке при комнатной температуре в течение 30 минут. Кристаллизацию полученного гидрогеля проводили гидротермальным способом при температурах 110, 130, 150 и 180 °С с выдержкой 6 часов. Образующийся осадок цеолита отфильтровывали, промывали дистиллированной водой и сушили 1 час на воздухе при 90 °С.

Далее порошки цеолитов аликвотами по 1,0 г помещали в колбы с 1000 мл раствора хлорида цезия, хлорида стронция, нитрата кобальта, хлорида свинца, нитрата лантана с содержанием катионов металлов и выдерживали 24 часа на шейкере при комнатной температуре до достижения максимального сорбционного насыщения. Далее образцы отфильтровывали, промывали дистиллированной водой и сушили до полного удаления влаги.

Таблица 1 – Характеристики цеолита NaY для сорбции и иммобилизации ионов металлов

Ион	Сорбционная емкость, q	Площадь поверхности, м ² /г	Температура плавления, °С
Без ионов	-	371,2	980
Pb ²⁺	527,12 мг/г	306,8	940
Cs ⁺	251,99 мг/г	351,1	1000
Sr ²⁺	328,40 мг/г	293,8	935
Co ²⁺	107,43 мг/г	357,2	960
La ³⁺	531,73 мг/г	340,5	-



a, a* – исходный NaY-цеолит, b, b* – NaY-цеолит, насыщенный Cs^+ , c, c* – NaY-цеолит, насыщенный Sr^{2+} , d, d* – NaY-цеолит, насыщенный Co^{2+} , e, e* – NaY-цеолит, насыщенный La^{3+} , f, f* – NaY-цеолит, насыщенный Pb^{2+}

Рисунок 1 – SEM-изображения поверхности цеолита NaY

Цеолит структурного типа NaY может быть использован в качестве перспективного сорбента для ионов Pb^{2+} , Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} , La^{3+} . Наибольшую сорбционную емкость цеолит имеет по отношению к ионам La^{3+} . После адсорбции катионов площадь удельной поверхности во всех случаях уменьшалась по причине заполнения сорбционных обменных центров. Исследованы температуры плавления насыщенных катионами Pb^{2+} , Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} образцов. Показано, что в случае с ионом Cs^+ цеолит приобретает наибольшую температуру плавления, а у других образцов температура плавления уменьшается после насыщения катионами, например, в образце с Sr^{2+} температура плавления снижается до 935°C .

Было установлено, что NaY Faujasite Zeolite обладает высокой сорбционной активностью по отношению к перечисленным катионам. Наиболее высокую сорбционную емкость образец проявил к катионам La^{3+} (531,73 мг/г). Его уникальная структура позволяет эффективно связывать тяжелые металлы и радионуклиды, образуя устойчивые соединения, которые можно легко удалить из жидкой среды.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № FZNS 2023-0003, тема «Фундаментальные основы химической инженерии новых функциональных материалов, адаптивных для ядерных и радиационных технологий».

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ МАРХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Лукина Ю.В.¹, Калачева Л.П.², Иванова И.К.², Портнягин А.С.²

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия;

yulechka-lukina-2000@mail.ru

“STUDY OF HYDRATE FORMATION OF NATURAL GAS IN CLAY SOILS OF THE
MARKHINSKOYE DEPOSIT”

В Республике Саха (Якутия) природный газ является одним из основных источников энергии. Суровый континентальный климат и сплошное распространение многолетнемерзлых пород способствуют образованию гидратной пробки в магистральном газопроводе, что может привести к аварийным ситуациям. Следовательно, для повышения надежности и эффективности систем энергоснабжения существует необходимость создания подземных хранилищ газа в гидратном состоянии в пористых коллекторах. Образование газогидратов и их стабильность в свою очередь зависят от свойств вмещающей породы, таких как: влажность, пористость, плотность,

минералогический и гранулометрический состав, а также от присутствия глин. Поэтому целью работы является изучение процесса гидратообразования природного газа в глинистых грунтах.

В экспериментах использовался не промытый глинистый грунт Мархинского месторождения, данный образец имеет высокое содержание пылеватых частиц и содержит гидрокарбонат-ионы. Для получения объектов исследования был выбран природный газ Средневилюйского газоконденсатного месторождения (ГКМ) следующего состава (% мол.): метан – 93,88, этан – 4,44, пропан – 1,1, изобутан – 0,087, н-бутан – 0,108, углекислый газ – 0,056, азот – 0,330. Объектами исследования являлись гидраты этого газа, полученные в глинистом грунте при различной влажности. Весовая влажность грунта задавалась дистиллированной водой и составляла 15%, 30% и 40%. Фазовые переходы гидратов в грунтах изучали методом дифференциального термического анализа при давлении 8 МПа на установке, подробное описание которой приведено в [1]. Количество газа (Δn_g , моль), поглощенного в процессе образования гидрата; количество газа, поглощенного 1 моль воды (N , моль/моль); скорость гидратообразования ($\frac{dn}{dt}$, моль/с) и степень превращения воды в гидрат (W_h , %) рассчитывали по формулам, приведенным в [2]. Гидратное число n для гидрата природного газа было принято равным 5,67 [3].

На рис. 1 представлена зависимость температуры от давления при образовании и разложении гидрата в глинистом грунте с влажностью 15%. Аналогичные результаты были получены и в других образцах.

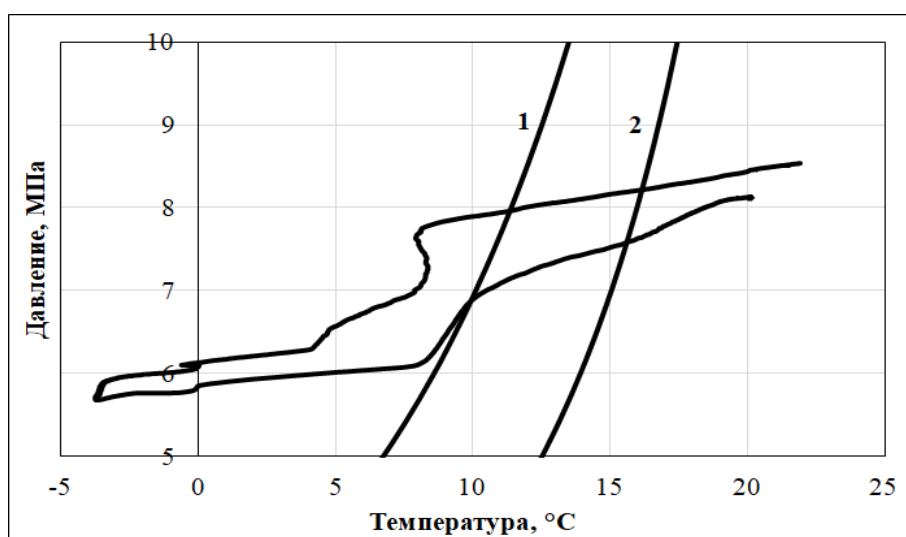


Рисунок 1 – Зависимость температуры от давления при образовании и разложении гидратов в системе «природный газ – глинистый грунт – вода»; 1 и 2 – расчетные кривые гидратообразования систем «метан – вода» и «природный газ – вода», соответственно.

Видно, что кривая разложения гидратов имеет ступенчатый характер. Сравнение условий разложения гидратов на разных этапах нагрева с расчетными кривыми, позволяет сделать вывод о том, что в исследованных системах образуется смесь гидратов метана и природного газа. Следует отметить, что в работе [4] авторами при изучении гидратообразования в системах «природный газ – кварцевый песок – вода/растворы солей» также было установлено, что в пористой среде природный газ образует гидраты структур КС-I (гидрат метана) и КС-II (гидрат природного газа).

Кинетические характеристики процесса образования гидратов в глинистых грунтах (среднее из 3-х значений) приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Кинетические характеристики образования гидратов в глинистых грунтах в зависимости от их влажности

Влажность, %	Δn_g , моль	N , моль/моль воды	W_h , %	$\frac{dn}{dt}$, моль/с
15	0,109	0,136	77,3	$1,9 \cdot 10^{-5}$
30	0,074	0,046	26,1	$3,9 \cdot 10^{-6}$
40	0,062	0,029	24,7	$3,4 \cdot 10^{-6}$

Из представленных данных следует, что на кинетические параметры гидратообразования в глинистых грунтах влияет степень их влажности. С увеличением влажности от 15 до 40% степень превращения воды в гидрат снижается в 3 раза, а скорость гидратообразования уменьшается на порядок.

Таким образом, изучены условия образования и разложения гидратов природного газа в глинистых грунтах и определены кинетические параметры гидратообразования.

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ (Рег. №122011100157-5) с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН и гранта №13.ЦКП.21.0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kalacheva, L.P. Determination of the lower boundaries of the natural gas hydrates stability zone in the subpermafrost horizons of the Yakut arch of the Vilyui syncline, saturated with bicarbonate-sodium type waters [Text] / L.P. Kalacheva, I.K. Ivaova, A.S. Portnyagin [et al.] // SOCAR Proc., Special. – 2021. – No. 2. – P. 1-11.
2. Linga P. Enhanced rate of gas hydrate formation in a fixed bed column filled with sand compared to a stirred vessel [Text] / P. Linga, N. Daraboina, J.A. Ripmeester [et al.] // Chemical engineering science. – 2012. – Vol. 68, No. 1. – P. 617-623.
3. Истомин, В.А. Газовые гидраты в природных условиях [] / В.А. Истомин, В.С. Якушев. – Москва: Недра, 1992. – 236 с.
4. Ivanova, I.K. Experimental Study of Natural Gas Hydrate Formation in a Porous Medium in the Presence of Aqueous Solutions of Sodium Chloride and Sodium Bicarbonate [Text] / I.K. Ivanova, L.P. Kalacheva, A.S. Portnyagin [et al.] // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2023. – P. 1-7.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНОГО ЧИСЛА МОТОРНОГО МАСЛА

Жирков Н.П., Прокопьева Т.И.

СВФУ, Якутск, Россия

taya2014.80@mail.ru

“DETERMINATION OF THE ALKALINE NUMBER OF ENGINE OIL”

С целью контроля за эксплуатационными характеристиками дизель-генераторов необходимо периодически проводить анализ качества используемых моторных масел, что покажет изменения, происходящие с маслом в процессе эксплуатации. В результате различных физико-химических процессов при эксплуатации, масла стареют. Процесс старения состоит в том, что при работе двигателя свойства смазочных материалов постепенно меняются: происходит загрязнение примесями, водой, продуктами износа деталей и сгорания топлива. Одновременно накапливаются продукты окисления. Введенные заводом изготовителем в масло присадки постоянно срабатываются, в процессе эксплуатации часть присадок сгорает за счет расхода масла, а часть вымывается водой. Срабатывание присадок и снижение качества масла, как правило, рекомендуется характеризовать уменьшением щелочного числа (щелочности) масла падению щелочного числа. Одним из основных показателей старения масла является щелочное число – показатель срабатывания присадок масла. Для дизельных двигателей особенно важна стабильность всех свойств масла, чтобы обеспечить максимальную его долговечность.

Одной из важнейших процедур технического обслуживания является своевременная замена масла и масляных, воздушных фильтров. В случае, если она выполняется систематически, через определенный промежуток времени, можно с уверенностью говорить о длительной и бесперебойной эксплуатации оборудования. Что нужно сделать для экономии масел и в случае, когда генератор не часто запускается в работу, есть необходимость в проведении анализа масла. Анализ масла не по всем параметрам, по которым выпускают из завода изготовителя, а именно по некоторым важным показателям. Качество моторных масел на практике оценивается по их работоспособности и, как следствие, по сроку смены. Под работоспособностью понимают способность масел выполнять свои основные функции, не оказывая при этом существенного отрицательного влияния на состояние двигателя. Сложностью в отнесении масла категории предельно допустимые и не допустимые, не пригодного к дальнейшему применению, является отсутствие определенного норматива для работающих моторных масел. Есть регламентная система технического обслуживания машин,

двигателей, согласно которым и заменяют масла через определенное количество пройденных километров или число отработанных моточасов.

Целью исследования является выявление браковочных норм работающего масла по показателю щелочного числа и сравнение методик анализа щелочного числа. Для этого провели анализ потенциометрическим методом по ГОСТ 11362 на «общее щелочное число» на титраторе TitroLine 7000 и параллельно экспресс анализ по патенту РФ на изобретение RU №248462.

Анализ по ГОСТ 11362 является более точным количественным определением показателя «щелочное число», но не все потребители могут позволить этот анализ из-за дорогой стоимости аппарата, электродов и использовании не малого количества растворителей. На один анализ нами было использовано 120 мл растворителя, состоящего из толуола и изопропилового спирта. Это увеличивает стоимость данного анализа и в сторонних лабораториях. Экспресс анализ относится к качественным анализам моторного масла, позволяет получить результаты с существенно меньшими расходами по времени и затратам. На один анализ необходимо 2 мл растворителя, исходя из этого его можно отнести к экологичным анализам в химии из-за меньшего потребления растворителей на единицу анализа. Способ осуществляется путем обработки капельной пробы масла растворителем, состоящим из толуола и изопропанола в соотношении 1:1, 20% водного раствора этилового спирта в присутствии фильтровальной бумаги, пропитанной 1% водным раствором бромтимолового синего. Результат выводят сравнением цвета пробы в колбе с эталонными оттенками. Желтый цвет – менее 1 мг КОН/г; светло-зеленый – 1,5-2,0 мг КОН/г; ярко-зеленый – 2,5-3,5 мг КОН/г; светло-голубой – 3,5-4,0 мг КОН/г; синий цвет – 4,5-5,5 мг КОН/г; фиолетовый – 6-7 мг КОН/г.

Для сравнения этих методик провели анализ минеральных моторных масел марки М8ДМ и М10ДМ. Свежее масло как показатель высокого щелочного числа и из работающих дизель генераторов для наблюдения за срабатыванием присадок во время эксплуатации. Результаты испытаний на титраторе приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний на титраторе TitroLine 7000

Марка масла	Норма щелочного числа свежего масла, мг КОН на 1 г масла по ГОСТ масла	фактические данные			
		Свежее масло	Работающее масло		
			март	май	август
М-8ДМ	Не менее 8,5	8,04	3,71	2,22	2,08
М-10ДМ	Не менее 8,2	6,92	2,54	1,71 Замена масла	4,74

Расходование присадок со временем видно по уменьшению количества щелочного числа который выражается в мг КОН/г масла. По результатам анализа в мае месяца, произвели замену масла в дизель генераторе. В августе сделан анализ после замены масла на свежее, после пробных запусков.

Параллельный анализ экспресс методом тоже показывает уменьшение содержания присадок со временем. Результаты испытаний экспресс методом приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний экспресс методом

Марка масла	Норма свежего масла щелочное число, мг КОН на 1 г масла	фактические данные			
		Свежее масло	Работающее масло		
			март	май	август
М-8ДМ	Не менее 8,5	ярко синий более 4,5-5,5	ярко зеленый 2,5-3,0	светло зеленый 1,5-2,0	светло зеленый 1,5-2,0
М-10ДМ	Не менее 8,2	синий 4,5-5,5	ярко зеленый, 2,5-3,0	желтый менее 1	светло-голубой 3,5-4,0

Использование экспресс анализа в ходе эксплуатации масла показал схожие с количественным методом и выгодно по расходу растворителя. В данной методике анализа выяснили один недостаток, так как анализ качественный, есть большая вероятность в искажении результата из-за человеческого фактора. Для более точного определения цветов в испытательных образцах необходимо распечатать цветную шкалу сравнения цвета. В отмеченном патенте авторы использовали индикаторную бумагу, но по факту получилось, что не одинаковая впитываемость фильтровальной бумаги индикатора бромтимолового синего, искажает результат получаемых цветов. Для решения этого вопроса приготовили индикаторный раствор, состоящий из 100 мл растворителя (толуола и изопропанола в объемном соотношении 1 к 1) и 1 г бромтимолового синего. Расход индикаторного раствора по капле на один анализ. Использование индикаторного раствора показывает более яркие оттенки, переход цвета виден более точно. Этот раствор можно хранить в лаборатории длительное время.

Полученные результаты показывают возможность использования в работе экспресс анализа в процессе эксплуатации масла, для работающих масел. Результаты аналогичны с качественным методом анализа. Приготовленный нами раствор индикатора дает более точный цвет образца, повышает точность оценки значений. Использование экспресс анализа позволит более быстро и часто производить анализ масел, для прослеживания этапа старения залитого масла в дизель генераторах. В комплексе с результатами других испытаний масла, определение щелочного числа дает возможность вынести более достоверное заключение о состоянии масла в общем.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ РАСКОКСОВКИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Алексеев А.Г., Решетникова Д.А.

СВФУ, Якутск, Россия

**“STUDY OF THE INFLUENCE OF SOLVENTS FOR DECAKING INTERNAL COMBUSTION
ENGINE”**

Ремонт автомобиля начинается именно с очистки деталей. Качественно выполненная чистка ведет к дальнейшему успешному эксплуатированию автомобиля. Под понятием раскоксовки двигателя и раскоксовки поршневых колец стоит понимать процедуру, которая направлена на очистку нагара в камере сгорания или на кольцах. Активное нагарообразование происходит по разным причинам, а в сочетании с общим износом деталей силового агрегата нагар влияет на сокращение ресурса бензинового или дизельного двигателя до капитального ремонта. Основная проблема любых деталей автомобиля – их загрязнение за время эксплуатации. Это связано с тем, что повышение температуры корпуса инжектора выполняется именно в момент остановки двигателя, а охлаждающего действия нет из-за нагрева двигателя.

Раскоксовка ДВС – это профилактическая или ремонтная процедура очищения поршня, поршневых колец и камеры сгорания от нагара, кокса и лаковых отложений.

В рамках нашей работы установлены причины закоксованности двигателя. Ими оказались частая езда на непрогретом двигателе с небольшой нагрузкой, езда на малых оборотах, стояние в пробках, зимняя езда. Далее мы изучили методы раскоксовки двигателя и остановились на «жестком» методе, суть этого способа раскоксовки довольно проста: в камеру сгорания через форсуночные или свечные отверстия заливается агрессивная жидкость, которая размягчает и растворяет нагар в канавках и на днище поршня.

Раскоксовка осуществлялась в зависимости от определенного времени, детали заранее измерялись на аналитических весах и после погружались в выбранные нами растворители.

В ходе проделанной работы было определено, что бензол является наиболее быстрым и безопасным средством для раскоксовки ДВС на основе ароматических соединений, в результате которого раскоксовка идет эффективнее.

Эксперимент имеет два этапа:

Первый этап состоит в том, что гайки, заранее взвешенные на аналитических весах, помещались в оснастку с моторным маслом и нагревались на газовой печи в течение часа, детали коксовались. После коксования гайки были взвешены еще раз.

Во втором этапе закоксованные части двигателя измерялись в весах, помещались в емкость и погружались в раствор растворителя. Выдержка осуществлялась в течение определённого времени без механического воздействия на металлические поверхности. Затем помещались в сушильный шкаф и измерялись на весах.

Таблица 1 – Результаты коксования

m детали (начальная), г	m детали (после коксования), г	Изменение массы, %
8.150	8.246	1,18
7.789	7.964	2,25
7.956	8.078	1,53
8.001	8.138	1,71
8.098	8.275	2,19
8.067	8.185	1,46
7.802	7.938	1,74
8.012	8.162	1,87
7.992	8.110	1,48
8.122	8.265	1,76
7.839	8.064	2,87
8.017	8.304	3,58
8.078	8.245	2,07
7.986	8.125	1,74
8.118	8.386	3,30

Таблица 2 – Результаты раскоксовки в различных системах растворителей в зависимости от времени экспозиции, %

Растворители	m (нач.), г	m (спустя 3 часа), г	m (спустя 6 часов), г	m (спустя 24 часа), г
Бензол-гексан-уайт-спирит (1:1:1)	8.246	8.230	8.226	8.225
	7.964	7.950	7.948	7.948
	8.078	8.065	8.059	8.058
Гексан-бензол (25:75)	8.138	8.124	8.119	8.117
	8.274	8.263	8.259	8.257
	8.185	8.176	8.173	8.170
Диз.топливо	8.265	8.245	8.243	8.241
	8.064	8.049	8.046	8.045
	8.304	8.289	8.282	8.280
Керосин	7.938	7.927	7.924	7.922
	7.935	7.920	7.917	7.914
	8.162	7.990	7.984	7.981
GZOX	8.245	8.221	8.215	8.212
	8.125	8.102	8.097	8.095
	8.386	8.363	8.356	8.353
Растворители	3 ч %	6 ч %	24 ч %	
Бензол-гексан-уайт-спирит (1:1:1)	0,19	0,24	0,25	
	0,18	0,20	0,20	
	0,16	0,23	0,24	
Гексан-бензол (25:75)	0,17	0,23	0,25	
	0,13	0,18	0,21	
	0,11	0,15	0,18	
Диз.топлтво	0,24	0,27	0,29	
	0,18	0,22	0,23	
	0,24	0,26	0,28	
Керосин	0,14	0,18	0,20	
	0,18	0,22	0,26	
	0,21	0,21	0,22	
GZOX	0,29	0,36	0,40	
	0,28	0,34	0,36	
	0,27	0,35	0,39	

В ходе эксперимента среди некоммерческих средств дизельное топливо показало себя как более сильный растворитель. В сравнении с коммерческим GZOX разница оказалась в 0,12%. Система Г-Б (25:75) показал себя как более слабый растворитель. На основании предыдущих экспериментов были подобраны системы растворителей. Лучшим средством для раскоксовки показало себя дизельное топливо. Была спроектирована коксовая камера (оснастка) и проведен процесс коксования стальных деталей (гаек). Сравнительный эксперимент раскоксовки показал, что лучшим средством из систем растворителей является дизельное топливо, коммерческое средство GZOX оказалось более эффективным с разницей 0,12%.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОРФА В КАЧЕСТВЕ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Стручкова Н.В., Корякина В.В.

СВФУ, Якутск, Россия

naryana9944@gmail.com

“RESEARCH OF THE PROPERTIES OF PEAT AS A POROUS MEDIUM FOR THE FORMATION OF
GAS HYDRATES”

Газовые гидраты – это твердые соединения-включения воды и газа, представляющие собой «горючий лед». Они образуются из углеводородных газов, чаще природного газа, и содержат до 180 литров газа на 1 кг жидкой воды. В природе газовые гидраты встречаются в вечномёрзлых породах, но чаще – в глубоководных донных осадках, при температурах и давлениях соответствующих условиям гидратообразования. В России известны залежи природных газогидратов в осадках территориальных вод морей и озера Байкал [1].

На сегодняшний день во всем мире продолжают проводиться направленные поиски газогидратных скоплений, в особенности на суше. Модельные эксперименты по гидратообразованию в пористой среде позволяют предиктивно отслеживать их в природных ландшафтах, и, если экспериментальных исследований в песчаном и глинистом грунте довольно много, то количество публикаций по изучению физико-химических особенностей формирования газогидратов в торфовой пористой матрице ограничено. Таким образом, исследование гидратообразования в поровом пространстве торфяного грунта является актуальной задачей.

Цель настоящей работы – характеристика основных физико-химических свойств торфяной матрицы, выбранной в качестве пористой среды для гидратообразования.

Объектом исследования в качестве пористой среды для модельных экспериментов по образованию газовых гидратов был выбран торф.

Были определены: общая и титруемая кислотность, а также плотность. Общую кислотность определяли с помощью рН-метра в водной вытяжке. Титруемая кислотность определялась в водной вытяжке прямым титрованием 0,1 н. раствором щелочи. Плотность измеряли пикнометрическим методом [2]. С целью характеристики химического профиля был проведен ИК-спектроскопический анализ на спектрометре I-Red 7800 марки SILab (Китай).

Установлено, что общая кислотность составляет рН 5,7 (слабокислый), титруемая кислотность исследованного торфа равна $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Плотность торфа составляет 0,9254 г/см³.

Видно (рис.1), что в торфе присутствует свободная влага, на спектре это проявляется наличием широкой полосы поглощения в районе 3400 см⁻¹. Значения 2917.23 и 2850.34 см⁻¹ соответствуют асимметричному и симметричному растяжению С-Н связей. На 1628.75 см⁻¹ проявляются валентные колебания карбонильных групп (С=О). 1376.83 см⁻¹ связан с деформационными колебаниями С-Н связей. 1261.60 и 1032.71 см⁻¹ связаны с растяжением связей С-О.

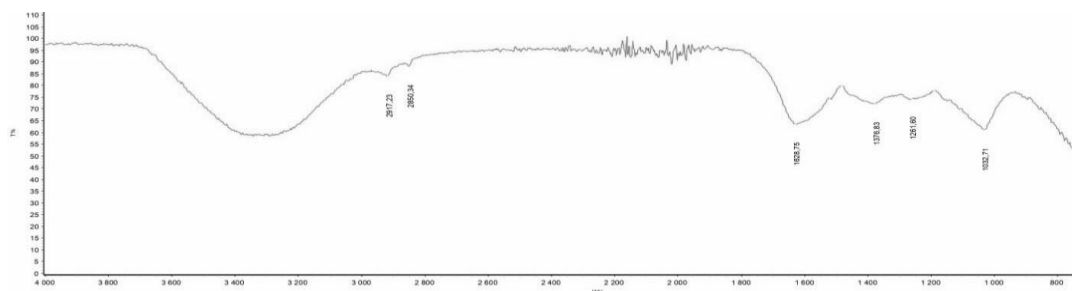


Рисунок 1 – Результаты ИК-спектроскопии торфа

Таким образом, проведены исследования торфа, который будет использован в качестве пористой матрицы при изучении гидратообразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Губайдуллин, А.А. Об упругих свойствах пористых сред с газовыми гидратами [Текст] / А.А. Губайдуллин, О.Ю. Болдырева, Д.Н. Дудко [и др.] // Успехи кибернетики. – 2021. – Т. 2, №. 2. – С. 82-89.
2. Базин, Е.Т. Технический анализ торфа [Текст] / Е.Т. Базин, В.Д. Копенки, В.И. Косов. – М.: Недра, 1992. – 71 с.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГУМАТОВ КАЛИЯ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ И ОКИСЛЕННОГО КАМЕННОГО УГЛЯ

Шайхислам Г.Б.¹, Соловьев Т.М.¹, Эпштейн С.А.¹, Соколова М.Д.²

¹НИТУ «МИСис», Москва, Россия; ²ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

gulshatshaikhislam@gmail.com

“BIOLOGICAL ACTIVITY OF POTASSIUM HUMATES ISOLATED FROM BROWN COALS AND OXIDIZED COAL”

Гуматы, выделенные из природного сырья, широко применяются в агропромышленном комплексе разных стран. Они обладают стимулирующими свойствами, и могут применяться как удобрения, стимуляторы роста растений, детоксиканты почв, а также как добавки при проведении мелиоративных работ [1, 2].

В настоящей работе проведена оценка биологической активности образцов гуматов калия, выделенных из бурых углей Якутии (Кангаласского и Кировского месторождения), а также окисленного каменного угля Кузбасса.

Выделение гуминовых кислот проводили следующим образом. Сначала, с целью повышения выхода гуминовых кислот, пробы угля предварительно активировали с помощью зондового ультразвукового диспергатора МФФ93.Т (Мэлфиз, Россия) при частоте 22 КГц в течение 1 ч. Для активации к пробе угля массой 4-5 г добавляли 100 мл 1%-ого раствора гидроксида натрия. После ультразвуковой обработки раствор нагревали на кипящей водяной бане в течение 2 ч для экстракции гуминовых кислот. Далее, путем центрифугирования и фильтрования отделяли щелочной экстракт от угля. При этом остаточный уголь дважды промывали щелочным раствором.

Осаждение гуминовых кислот осуществляли подкислением полученного экстракта (до pH 1-2) 5% соляной кислотой. Для полного осаждения гуминовых кислот раствор отстаивали в течение 40-60 минут (рис. 1).

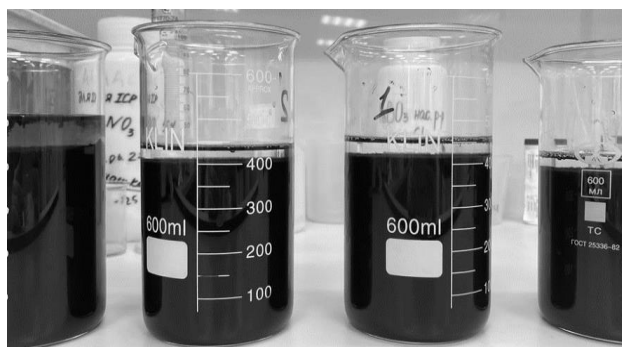


Рисунок 1 – Процесс осаждения гуминовых кислот

Осадок гуминовых кислот концентрировали с помощью центрифуги. Весь осадок гуминовых кислот промывали бидистиллированной водой до достижения нейтральной среды. Выделенные гуминовые кислоты сушили при комнатной температуре в течение 2-3 дней. После доведения до воздушно-сухого состояния их измельчали до аналитического состояния (<200 мкм) на агатовой ступке.

Для проведения испытания на биологическую активность были приготовлены растворы гумата калия с содержанием гуминовых кислот 0,01%. Испытания проводили на семенах овса Виленского. Данные семена были культивированы на базе Якутского научного исследовательского института

сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова.

Семена проращивали на фильтровальной бумаге. Биологическую активность растворов гумата калия оценивали по изменению показателей всхожести, длины главного корешка и стебля по сравнению с контрольным опытом (проращивание на воде). Все этапы испытания выполняли согласно указаниям и рекомендациям, предусмотренных в ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

Растильни с семенами экспонировали в термостате при комнатной температуре. Определение всхожести семян, а также измерение длины главного корешка и стебля проводили на 7 день экспонирования. Полученные данные статистически обрабатывались с помощью программы Microsoft Office Excel. Для формализации полученных результатов рассчитывали интегральный индекс фитоактивности (ИФ), который отражает отклонение показателей всхожести, средней длины главного корешка и стебля проростков от контрольной пробы (проращивания в воде) [4]. ИФ вычисляли по формуле:

$$\text{ИФ} = \frac{(\text{ЭП} + \text{ДК} + \text{ВП})}{300},$$

где, ЭП – отклонение всхожести семян от контроля, %;

ДК – отклонение длины главного корешка проростка от контроля, %;

ВП – отклонение длины стебля проростка от контроля, %.

Результаты оценки биологической активности растворов гумата калия представлены в табл. 1. На исследованных растворах гумата калия получены очень близкие результаты. В целом стоит отметить, что показатели всхожести семян и средней длины корешков на всех пробах находятся практически на одном уровне. Существенные отличия наблюдаются в показателях средней длины стеблей проростков. Под действием растворов гумата калия длина стеблей проростков увеличилась почти на 20% относительно контрольных образцов. Рассчитанный индекс фитоактивности у образцов гумата калия между собой достаточно близки. Однако более высоким ИФ характеризуются гуматы калия, приготовленные из гуминовых кислот углей Кангаласского месторождения.

Таблица 1 – Результаты биологической активности образцов гуматов калия

Наименование пробы	Всхожесть, %	Ср. дл. кор., см	Ср. дл. стеб., см	ЭП, %	ДК, %	ДС, %	ИФ
Контрольные	88	10,6	7,6	100,0	100,0	100,0	1,00
Кангаласское	90	10,8	9,1	102,3	101,9	119,7	1,08
Кировское	90	10,2	9,0	102,3	96,2	118,4	1,06
Окисленный каменный уголь	89	10,1	9,1	101,1	95,3	119,7	1,05

Примечание: ЭП – отклонение всхожести семян от контроля; ДК – отклонение длины главного корешка проростка от контроля; ВП – отклонение длины стебля проростка от контроля; ИФ – индекс фитоактивности.

Проведенное исследования показало, что образцы гуматов калия, приготовленные из гуминовых кислот бурых углей Кангаласского и Кировского месторождения, а также из окисленного каменного угля, положительно влияют на рост семян. Установлено, что под действием раствора гумата калия усиливается рост длины стеблей проростков.

Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Технологии устойчивого развития» Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Жеребцов, С.И. Зависимость биологической активности гуминовых кислот бурых углей от содержания макро- и микроэлементов [Текст] / С.И. Жеребцов, Н.В. Малышенко, Н.В. Вотолкин [и др.] // Химия твердого топлива. – 2021. – №. 4. – С. 21-26.
2. Исмагилов, З.Р. Комплексная переработка бурых углей с получением горного воска и гуминовых препаратов [Текст] / З.Р. Исмагилов, С.И. Жеребцов, К.С. Вотолкин [и др.] // Наука и технологии Сибири. – 2022. – №. 5. – С. 9-18.

3. Кожевников, Ю.А. Экстракция гуминовых веществ из бурых углей Канско-Ачинского бассейна при ультразвуковом воздействии [Текст] / Ю.А. Кожевников, В.В. Сербин. // Труды Академэнерго. – 2019. – №. 2(55). – С. 89-97.
4. Воронина, Л.П. Оценка биологической активности промышленных гуминовых препаратов [Текст] / О.С. Якименко, В.А. Терехова. // Агрохимия. – 2012. – №. 6. – С. 45-52.

ОБРАЗОВАНИЕ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ЗАСОЛЕННОЙ, НАСЫЩЕННОЙ НЕФТЬЮ И РАСТВОРАМИ ПОЛИМЕРОВ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЕ

Портнягин А.С., Иванова И.К.

ИПНГ СО РАН, ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия

al220282@mail.ru

“NATURAL GAS HYDRATES FORMATION IN A DISPERSE MEDIUM SATURATED BY SALT, OIL AND POLYMER SOLUTIONS”

Разработка залежей нефти, расположенных на территории Якутии, является сложной и нетривиальной задачей, так как они представляют собой тонкие нефтяные оторочки, ограниченные газовыми шапками сверху, и неактивными высокоминерализованными пластовыми водами снизу. Полнота извлечения нефти из подобных месторождений не превышает 10-15 %, а просчеты в стратегии их разработки могут привести к полному расформированию нефтяной залежи [1]. Особенно это актуально для нефтегазоконденсатных месторождений Якутии, которые являются ресурсной базой для газопровода «Сила Сибири», так как преимущественный отбор газа может снизить и без того небольшие показатели коэффициента извлечения нефти на этих месторождениях. Наиболее эффективным способом предотвратить негативные эффекты от отбора газа может метод барьерного заводнения, суть которого заключается в создании высоковязкого барьера между газовой и нефтяной залежами. Однако закачка в нефтяную залежь водополимерных растворов может спровоцировать образование газогидратов в породе коллектора. Поэтому настоящая работа посвящена исследованию процессов образования и разложения гидратов природного газа в нефтенасыщенных пористых средах, засоленных растворами хлорида кальция в присутствии растворов полимеров.

Изучение фазовых переходов при гидратообразовании в пористой среде проводилось методом дифференциального термического анализа. Экспериментальная установка для проведения исследований состоит из автоклава высокого давления, оснащенного двумя датчиками температуры и датчиком давления. Подробная схема, описание установки и методика проведения эксперимента приведены в работах [2, 3].

Объектами исследования являлись гидраты природного газа Средневилюйского газоконденсатного месторождения (ГКМ), полученные в системах «природный газ – дисперсная среда – вода / раствор полимера – пластовая вода – нефть». В роли дисперсной среды использовался монодисперсный кварцевый песок с размером зерен 0,4-0,3 мм. В качестве пластовой воды применялась ее модель, представляющая собой раствор хлорида кальция (CaCl_2) с концентрацией 400 г/л. В экспериментах использовались: нефть Иреляхского ГНМ и растворы натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) с концентрацией 5 г/л, полиакриламида (ПАА) с концентрацией 1 г/л и полиэтиленгликоля с концентрацией 30 г/л. Влажность песка задавалась таким образом, чтобы количество чистой воды в системе во всех случаях равнялось 15 мас. %.

Исследование равновесных условий образования гидратов природного газа показало, что в песке с водой и растворами полимеров образуется смесь гидратов. Анализ компонентного состава газов в гидратах показал, что в песке происходит фракционирование исходного природного газа с образованием гидрата метана кубической структуры КС-I и гидрата газа, обогащенного углеводородами $\text{C}_2\text{-C}_4$, структуры КС-II [4]. При этом равновесные условия образования гидратов структуры КС-II смещены по термической шкале в область высоких температур на 2-3°C относительно равновесной кривой образования гидратов исходного природного газа.

Установлено, что растворы полимеров по-разному влияют на кинетические характеристики гидратообразования, так в растворах ПАА снижается степень переохлаждения системы, значительно увеличиваются степень превращения воды в гидрат и скорость гидратообразования, что позволяет сделать вывод о том, что раствор ПАА обладает свойствами кинетического промотора процесса образования гидратов в пористой среде. Тогда как, растворы Na-КМЦ и ПЭГ являются кинетическими ингибиторами, поскольку в их присутствии степень превращения воды в гидрат существенно снижается.

Внесение в исследуемые системы нефти не приводит к изменению условий образования гидратов природного газа в растворах полимеров, однако приводит к смещению условий образования гидратов в воде к расчетной равновесной кривой гидратообразования метана, что возможно говорит об увеличении содержания метана в составе газа, перешедшего в гидрат. При этом наличие нефти в системе значительно снижает кинетические характеристики образования гидратов. Так, скорость гидратообразования и степень превращения воды в гидрат снижаются до минимальных значений практически одинаковых для всех представленных растворов полимеров и воды. Таким образом, можно говорить, что кинетические характеристики гидратообразования в большей степени зависят от присутствия нефти в системе, чем от природы среды гидратообразования.

Известно, что пластовая вода нефтяных месторождений Якутии предотвращает образование газовых гидратов [5], однако существует возможность образования гидратов при локальном снижении концентрации соли в пластовых водах растворами за счет водорастворимых полимеров, приготовленных из пресной или слабоминерализованной воды.

Установлено, что условия образования гидратов структуры КС-I в растворах полимеров смещаются в область низких температур по мере увеличения концентрации CaCl_2 в среде гидратообразования. Однако, по сравнению с расчетными условиями образования гидратов метана [6] в растворах хлорида кальция аналогичных концентраций полученные значения условий образования гидратов смещаются в область высоких температур по мере увеличения концентрации соли в системе. Это показывает, что с ростом концентрации соли, в гидрат переходят гомологи метана C_2 - C_4 , и при достижении концентрации CaCl_2 равной 120 г/л и выше, условия образования рассматриваемых гидратов близки к условиям образования гидратов природного газа в аналогичных растворах соли.

Следует отметить, что в системах с нефтью такого смещения условий образования гидратов не наблюдается. Возможно, это связано с барьером из нефтяной пленки в зоне газовой контактной поверхности, препятствующему проникновению в реакционную среду более тяжелых гомологов метана.

Таким образом, показано, что в пористой среде в присутствии растворов полимеров в статических условиях природный газ образует смесь гидратов КС-I и КС-II. При этом растворы полимеров влияют на кинетические характеристики гидратообразования, так раствор ПАА является кинетическим промотором, а растворы Na-КМЦ и ПЭГ ингибиторами гидратообразования.

Установлено, что наличие нефти в системе является лимитирующим фактором для кинетических характеристик образования гидратов природного газа.

Обнаружено, что в растворах полимеров в пористой среде по мере увеличения концентрации соли CaCl_2 снижается доля гидрата с кристаллической структурой КС-I, что подтверждается смещением равновесных условий гидратообразования в область высоких температур относительно расчетных условий образования гидратов метана. Причем, в системах с нефтью такого эффекта не выявлено.

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ (Рег. №122011100157-5) с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН и гранта №13.ЦКП.21.0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Буракова, С.В. Проблемы освоения тонких нефтяных оторочек газоконденсатных залежей Восточной Сибири [Текст] / С.В. Буракова, Д.В. Изюмченко, И.И. Минаков [и др.] // Вести газовой науки. – 2013. – №. 5(16). – С. 124-133.
2. Портнягин, А.С. Изучение процессов образования гидратов природного газа в системах «пластовая вода – пористая среда – раствор полимера» [Текст] / А.С. Портнягин, Л.П. Калачева, И.К. Иванова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2022. – Т. 17, №. 4.
3. Портнягин, А.С. Изучение процессов образования гидрата природного газа в пористой среде из смеси растворов полимеров с нефтью [Текст] / Портнягин А.С., Иванова И.К., Калачева Л.П. [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2023. – №. 4. – С. 28-32.
4. Иванова, И.К. Экспериментальные исследования гидратообразования природного газа в пористой среде в присутствии растворов хлорида и гидрокарбоната натрия [Текст] / И.К. Иванова, Л.П. Калачева, А.С. Портнягин [и др.] // Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа: Материалы X Международной конференции, Томск, 02–06 октября 2023 г. – Екатеринбург: [б.и.], 2023. – С. 222-223.
5. Троицкий, В.М. Применение методов физического и математического моделирования для оценки эффективности использования технологии водогазового воздействия на Чаюдинском нефтегазоконденсатном месторождении [Текст] / В.М. Троицкий, Б.А. Григорьев, С.Г. Рассохин [и др.] // Вести газовой науки. – 2018. – №. 5(37). – С. 140-155.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ИХ СТАБИЛЬНОСТИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Бубнова А.Р., Калачева Л.П., Иванова И.К., Портнягин А.С., Иванов В.К.

ИПНГ СО РАН, ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия

bubnova03121999@gmail.com

“INVESTIGATION OF THERMODYNAMIC CONDITIONS OF THE NATURAL GAS HYDRATES FORMATION AND THEIR STABILITY IN A POROUS MEDIUM”

Изучение гидратообразования природного газа во влажных пористых средах продиктовано возможностью создания подземных хранилищ газа в гидратном состоянии в подмерзлотных водоносных горизонтах Вилюйской синеклизы, состав и минерализация вод которых колеблется в широких пределах [1]. Резервный запас газа необходим для стабильной работы системы газоснабжения Республики Саха (Якутия) в случае аварийных ситуаций. Уникальное свойство газовых гидратов концентрировать в 1 объеме до 170 объемов газа предопределяет компактность такого хранения газа. Если объемы подземных газовых хранилищ составляют до 2 млрд м³, то объем газа в газогидратных хранилищах может увеличиться в несколько раз. Стабильность и экологичность подземных хранилищ газа в гидратном состоянии обеспечивают многолетнемерзлые породы, которые будут служить в качестве непроницаемой покрывки.

Объекты изучения – гидраты природного газа Средневилюйского ГКМ (в составе газа 93,88 мол. % приходится на метан), полученные в системах «вода – природный газ», «раствор NaHCO₃ (0,25 и 2 мас. %) – природный газ», «вода – природный газ – пористая среда» и «раствор NaHCO₃ (0,25 и 2 мас. %) – природный газ – пористая среда». Пористой средой для гидратообразования послужил кварцевый, бидисперсный песок, мелко-среднезернистый с преобладанием частиц 0,50-0,25 мм (54%). Исследование процессов образования и разложения гидратов природного газа проводилось методом дифференциального термического анализа (ДТА) на установке, схема которой подробно описана в [2]. Стабильность газогидратов определяли по средней скорости диссоциации гидрата, величина которой равна обратной величине времени разложения 50% гидратов [3].

Полученные экспериментальные равновесные точки в системе «вода – природный газ» практически ложатся на ее расчетную кривую (рис. 1), что говорит об адекватности применяемого метода ДТА. С увеличением концентрации раствора гидрокарбоната натрия кривые смещаются в область высоких давлений и низких температур.

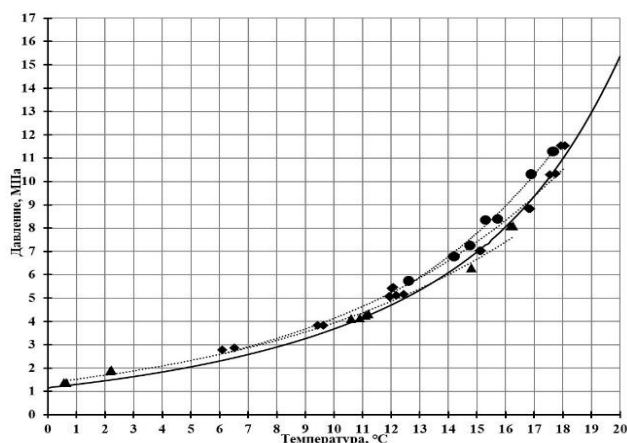


Рисунок 1 – Экспериментальные равновесные условия гидратообразования природного газа в объеме: ▲ – воды; ◆ – 0,25 % NaHCO₃; ● – 2 % NaHCO₃; — расчетная равновесная кривая гидратообразования природного газа Средневилюйского ГКМ в объеме воды

Как было показано в работе [4], природный газ в пористой среде образует смесь гидратов метана и газа, обогащенного углеводородами C₂-C₄. На рис. 2 приведены экспериментальные точки разложения гидратов, полученных в пористых средах с различной засоленностью. Видно, что точки находятся в области стабильности гидратов метана.

По равновесным условиям были выведены эмпирические зависимости гидратообразования и величины достоверности аппроксимации (R^2), также рассчитаны теплоты диссоциации гидратов природного газа по уравнению Клаузиуса-Клапейрона и средняя скорость разложения (v_{cp}), которые приведены в табл. 1.

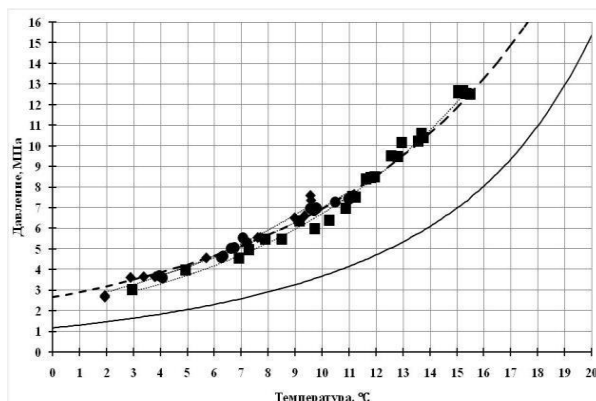


Рисунок 2 – Экспериментальные равновесные условия гидратообразования природного газа в пористой среде: ■ – водой; ● – 0,25 % NaHCO₃; ◆ – 2 % NaHCO₃; —и — — — расчетные равновесные кривые гидратообразования в системах «природный газ – вода» и «метан – вода»

Таблица 1 – Эмпирические зависимости давления гидратообразования природного газа от температуры, теплоты диссоциации гидратов и средняя скорость разложения

Системы	Эмпирические зависимости	R^2	ΔH , кДж/моль	v_{cp} , %·мин ⁻¹
H ₂ O/NaHCO ₃ – природный газ				
H ₂ O	$p = \exp(30,783 - 8324,7/T)$	0,9902	61,971	18,4
0,25 % NaHCO ₃	$p = \exp(35,084 - 9531,5/T)$	0,9847	79,245	26,6
2,00 % NaHCO ₃	$p = \exp(42,091 - 11537/T)$	0,9873	95,919	35,5
H ₂ O/NaHCO ₃ – природный газ – пористая среда				
H ₂ O	$p = \exp(33,306 - 8886,3/T)$	0,9958	73,881	10,3
0,25 % NaHCO ₃	$p = \exp(33,650 - 8970,8/T)$	0,9948	74,583	11,8
2,00 % NaHCO ₃	$p = \exp(34,726 - 9263,1/T)$	0,9757	77,013	17,8

Коэффициенты детерминации для каждой модельной системы имеют значения $R^2 > 0,97$, что говорит о высокой точности аппроксимации, то есть полученные эмпирические зависимости хорошо описывают процесс гидратообразования. Расчет энтальпии диссоциации гидрата природного газа в различных системах показал, что теплота диссоциации в системах повышается с увеличением концентрации растворов. Средняя скорость разложения гидратов с увеличением концентрации раствора гидрокарбоната натрия растет. Полученные гидраты более стабильны в пористой среде.

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ (Рег. №122011100157-5) с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН и гранта №13.ЦКП.21.0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зорькин, Л.М. Воды нефтяных и газовых месторождений СССР. Справочник [Текст] / Л.М. Зорькин. – М: Недра, 1989. – 382 с.
2. Kalacheva, L.P. Determination of the lower boundaries of the natural gas hydrates stability zone in the subpermafrost horizons of the Yakut arch of the Vilyui syncline, saturated with bicarbonate-sodium type waters [Text] / L.P. Kalacheva, I.K. Ivanova, A.S. Portnyagin [et al.] // SOCAR Proceedings. – 2021. – Special Issue No. 2. – P. 001-011.
3. Калачева, Л.П. Свойства гидратов природного газа, полученных в модельных растворах гидрокарбонатно-натриевого типа [Текст] / Л.П. Калачева, А.С. Портнягин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – №. 10-2. – С. 196-200.

4. Ivanova, I.K. Experimental study of natural gas hydrate formation in a porous medium in the presence of aqueous solutions of sodium chloride and sodium bicarbonate [Text] / I.K. Ivanova, L.P. Kalacheva, A.S. Portnyagin [et al.] // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2023. – Vol. 59, No. 4. – P. 679-685.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БИТУМИНОЗНОЙ ПОРОДЫ СИНСКОЙ СВИТЫ АЛДАНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

Решетникова В.Р.¹, Корякина В.В.¹, Сивцев А.И.^{1,2}, Шиц Е.Ю.^{1,3}

¹СВФУ, Якутск, Россия; ²ООО "Таас-Юрэх Нефтегазодобыча", Якутск, Россия; ³ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия

ykiresh2005@gmail.com

“INVESTIGATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE BITUMINOUS ROCK OF THE SINSKAYA FORMATION OF THE ALDAN ANTECLISE”

Северный склон Алданской антеклизы является одной из первых территорий в Республике Саха (Якутия), где проводились целенаправленные работы по поиску месторождений нефти и газа в середине прошлого столетия (1933-55 гг). Однако и на сегодняшний день данная территория является слабоизученной.

Одним из высокоперспективных нефтегазоматеринских толщ на Северном склоне Алданской антеклизы является Куонамская горючесланцевая формация. Куонамская формация распространена в полосе, протягивающейся более чем на 2500 км от Игарского района на северо-западе, через современное Прианабарье и бассейн р. Оленек до Алданского щита на юго-востоке Сибирской платформы. Ширина полосы выходов колеблется от 150–200 до 620 км. Установленная площадь развития формации достигает приблизительно 750–780 тыс. км. Мощность куонамской формации на преобладающей площади распространения достаточно выдержана и составляет в среднем 40–70 м [1].

Возрастным и вещественным аналогом Куонамской горючесланцевой формации на среднем течении р. Лена представляется Синская свита нижнего-среднего кембрия.

Целью работы являлось исследование образцов породы Синской свиты Алданской антеклизы, отобранных на местности Чаран.

Объект исследования был отобран из естественного обнажения битуминозной породы в сентябре 2023 г на 12 км выше устья р. Синяя на местности Чаран. Образец представлен карбонатной битуминозной породой черного цвета с плотностью 2625 кг/м³ (рис. 1).

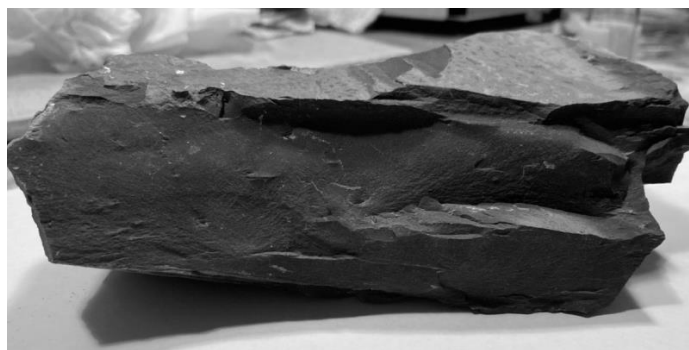


Рисунок 1 – Внешний вид образца исследованной породы

Предварительно образец породы подвергали механическому измельчению, растворению в соляной кислоте, а образующийся нерастворимый осадок отфильтровывали. Таким образом получали раствор минеральной части и органическую фазу породы. В растворе минеральной части открывали основные катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^-) и анионы методами качественного анализа, а также определили содержание кальция и магния методом комплексометрического титрования.

Исследование породы методом инфракрасной спектроскопии было выполнено при помощи алмазной приставки НПВО Quest фирмы Spexac, а органической части породы методом просвечивания тонкого слоя образца, нанесенного на поверхность окна KBr, на спектрометре i-Red 7800u-L фирмы SIIab. Регистрацию спектров проводили в диапазоне волновых чисел 500–3700 см⁻¹ с разрешением 4 см⁻¹. Характеризацию минерального состава слагающей породы, а также органической части породы проводили согласно литературным источникам [2, 3].

Качественный анализ выявил в растворе минеральной части породы наличие катионов кальция, магния и анионов карбонатов и небольшого количества хлоридов. Таким образом, удостоверились, что порода представляет собой разновидность карбонатной породы кальция-магния.

Количественный анализ показал, содержания что содержание кальция составляет 41 мас.%, а магния – 0,5 мас.%. Анализ ИК-спектров показал, что минеральная часть породы представлена преимущественно известняком (рис. 2).

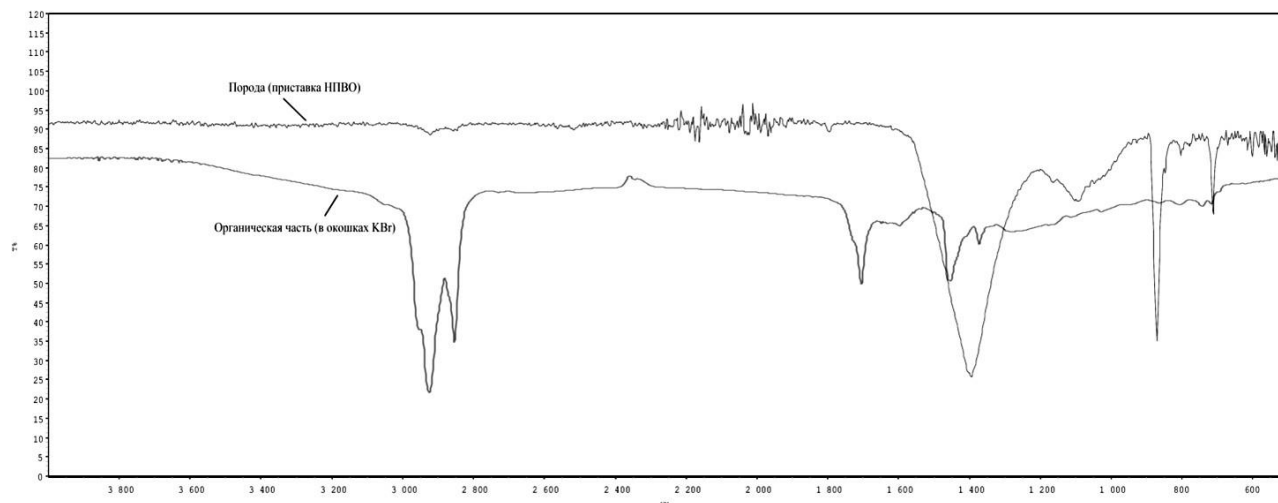


Рисунок 2 – ИК-спектры образца породы и ее органической части

В органической части образца обнаружены сигналы (табл. 1), по величинам интенсивности которых были определены спектральные коэффициенты (по соотношениям интенсивностей сигналов при волновых числах): степень алифатичности (по 1380 и 720 см^{-1}) равная 2,060, степень ароматичности (по 1600 и 720 см^{-1}) - 1,213, степень разветвленности (1460 и 720 см^{-1}) - 4,543, степень окисленности (1700 и 1460 см^{-1}) - 1,231 и степени осерненности (1030 и 1460 см^{-1}) - 0,048.

Таблица 1 – Значения волновых чисел на ИК-спектре органической части и их отнесение

Волновое число, см^{-1}	Отнесение	Волновое число, см^{-1}	Отнесение
2952	-CH ₃	1458	-CH ₂ -
2924	-CH ₃	1377	C(CH ₃) ₂
2852	-CH ₂ -	1030	S-O
1733	C=O	811	Ar
1708	C=O	749	
1600	Ar	721	-(CH ₂) ₆ -CH ₃

Как показал анализ литературных источников, полученный ИК-спектр типичен для окисленных битумов [4]. По сравнению со структурно-групповым составом нефтей [2], образец органической части породы обладает более высокими показателями степеней ароматичности, окисленности и разветвленности и низкими - степеней алифатичности и осерненности.

Таким образом, анализ образца битуминозной породы Синской свиты Алданской антеклизы показал, что минеральная часть представляет собой известняк с включениями доломитистого известняка. Состав битуминозной части породы представлен преимущественно окисленными ароматическими соединениями с разветвленными заместителями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивцев, А.И. Структурная карта по толщинам и глубинам залегания кровли Куонамской горючесланцевой формации [Текст] / А.И. Сивцев, И.Н. Зуева, О.Н. Чалая // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, 5–7 апреля 2017 г. – Якутск, 2017. – С.233–237.

2. Иванова, Л.В. ИК-спектроскопия в анализе нефти и нефтепродуктов [Текст] / Л.В. Иванова, Р.З. Сафиева, В.Н. Кошелев // Вестник Башкирского университета. – 2008. – Т. 13, №. 4. – С. 869-873.
3. Коровкин, М.В. Инфракрасная спектроскопия карбонатных минералов: учебное пособие [Текст] / М.В. Коровкин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 96 с.
4. Лескин, А.И. Инфракрасная спектроскопия в изучении битумов, полученных из отходов нефтепереработки [Текст] / А.И. Лескин, Д.И. Гофман, М.В. Катасонов, В.В. Вовко. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – Вып. 52. – С.71-79.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД НА ТЕПЛОТВОРНУЮ СПОСОБНОСТЬ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Иванов В.К., Калачева Л.П., Иванова И.К., Портнягин А.С.

СВФУ, Якутск, Россия

viktorklimentievich@gmail.com

**“INFLUENCE OF NATURAL WATER COMPOSITION ON THE CALORIC VALUE OF NATURAL
GAS HYDRATES”**

Якутия – самый холодный из обжитых регионов планеты. Климат резко континентальный, отличается продолжительным зимним и коротким летним периодами. Максимальная амплитуда средних температур самого холодного месяца – января и самого теплого – июля составляет 70-75°C. По абсолютной величине минимальной температуры (в восточных горных системах – котловинах, впадинах и других понижениях до минус 70°C) и по ее суммарной продолжительности (от 6,5 до 9 месяцев в год) Республика не имеет аналогов в Северном полушарии. Сама жизнедеятельность человека и способы ведения хозяйства требуют особых подходов и технологий, исходя из условий каждой природно-климатической зоны.

Длительный период отопительного сезона, в среднем составляющий 8-9 месяцев в году, а в арктической зоне – круглый год, диктует необходимость бесперебойной поставки топлива для жизнеобеспечения населенных пунктов и промышленных объектов. Сложность поставки топлива обусловлена тем, что в зоне круглогодичного транспортного обслуживания находится всего 8,7% площади региона, а более 90% территории Республики обеспечено только сезонной транспортной доступностью. Доставка топлива осуществляется речным, морским и наземным путями. Одним из основных источников энергии в Республике является природный газ. Магистральные газопроводы охватывают только юго-западную и центральную части Республики, а газификация арктических районов является экономически нецелесообразной в виду небольшой численности населения и отсутствия крупных промышленных потребителей в регионе. Поэтому необходим поиск новых экономически эффективных вариантов автономного энергоснабжения арктических территорий с учетом климатических условий и транспортных схем.

Расчеты экономической эффективности альтернативных трубопроводному транспорту технологий доставки газа до потребителей показали, что гидратная транспортировка газа ориентирована на локальное снабжение труднодоступных и удаленных от основных газопроводов небольших населенных пунктов [1]. Холодные климатические условия арктического региона Республики (среднегодовая температура в этих районах не превышает +15°C) позволяют синтезировать, хранить и транспортировать газ в гидратном состоянии без больших энергетических затрат и финансовых вливаний. Для промышленного производства гидратов природного газа исходным сырьем являются природный газ и вода. Республика обладает достаточными сырьевыми ресурсами для налаживания производства газовых гидратов. По данным министерства промышленности и геологии Республики Саха (Якутии) в 2022 г. добыто 17,3 млрд. м³ природного газа. Потенциальные гидроэнергоресурсы поверхностных и подземных вод Якутии оцениваются более чем 700 млрд. кВт. Воды рек и озер Якутии по химическому составу относятся к гидрокарбонатному классу со средней минерализацией 0,2 г/л [2]. Состав и минерализация подземных вод изменяется в широких пределах, могут встречаться воды хлоридно-кальциевого (подгруппы кальциевая и натриевая) и гидрокарбонатно-натриевого типов [3].

В качестве газа-гидратообразователя использован природный газ Средневилюйского ГКМ, состав которого (% мол.): метан – 93,9; этан – 4,44; пропан – 1,10; изобутан – 0,087; н-бутан – 0,108; диоксид углерода – 0,056; азот – 0,33. Молярная масса газа – 17,11 г/моль; относительная плотность – 0,592. Объектом исследования являлись гидраты этого газа, полученные в объеме воды и водных растворов

солей, имитирующих состав и минерализацию природных вод. Компонентный состав природного газа и газов в гидратах исследован методом газо-адсорбционной хроматографии на хроматографе GC-2010 Plus ATF (Shimadzu, Япония).

Важнейшей характеристикой энергетических возможностей и экономической эффективности топлива является теплота сгорания. В качестве базы принимается единица условного топлива (у.т.), имеющая теплоту сгорания, равную 29,3 МДж/м³ газообразного топлива. С этой целью исследованы составы газов в полученных гидратах и рассчитаны их коэффициенты жирности и теплотворная способность. Установлено, что значение этих параметров зависит от состава и концентрации растворов солей и увеличивается в ряду: NaHCO₃ < H₂O < NaCl < CaCl₂ (рис. 1). Повышение величин коэффициентов жирности и теплот сгорания объясняется увеличением содержания углеводородов C₂-C₄ в гидратном газе.

Теплотворная способность исходного природного газа превышает теплоту сгорания единицы условного топлива в 1,2 раза. В воде и в растворах солей теплота сгорания газов в гидратах возрастает и в зависимости от среды гидратообразования увеличивается в пределах от 1,34 до 1,62 раза. Гидратообразование природного газа в воде и растворе гидрокарбоната натрия приводит к получению жирного, а в растворах хлоридов – высокожирного газов.

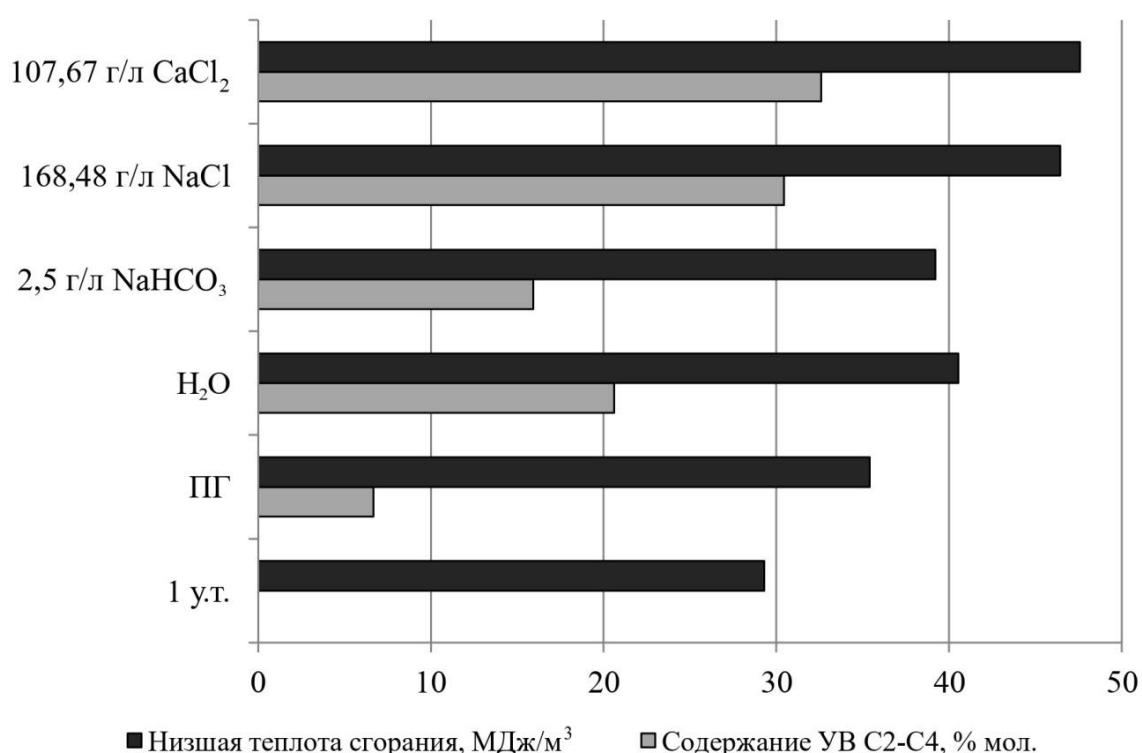


Рисунок 1 – Содержание углеводородов C₂-C₄ и теплотворная способность природного газа и газов в гидратах по сравнению с единицей условного топлива

Использование природных вод для получения гидратов природного газа приводит к повышению теплотворной способности гидратного топлива. Полученные жирные и высокожирные газы также являются ценным сырьем для нефтегазохимической промышленности. С учетом климатических условий, сложившейся инфраструктуры, ресурсных возможностей и экономической целесообразности использование газогидратных технологий для теплоснабжения арктических районов Республики Саха (Якутия) представляет собой вполне реализуемую задачу.

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ (Рег. №122011100157-5) с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН и гранта №13.ЦКП.21.0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gudmundsson, J.S. Hydrate non-pipeline technology [Text] / J.S. Gudmundsson, M. Mork, O.F. Graff // Proc. of the 4th International Conference on Gas Hydrates, Yokohama, Japan, – 2002. – P. 997-1102.
2. Перельман, А.И. Геохимия природных вод [Текст] / А.И. Перельман. – М.: Наука, – 1982. – 154 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЙ БИООЧИСТКИ ПОЧВ ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ

Глянцева Ю.С., Зуева И.Н., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х., Львова О.С.

ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

glyaz1408@mail.ru

“APPLICATION OF PHYSICO-CHEMICAL METHODS OF ANALYSIS IN THE DEVELOPMENT OF
TECHNOLOGIES FOR SOIL BIO-POLLUTION FROM OIL POLLUTION”

Вследствие разнообразного состава нефтепродуктов (НП), меняющегося в широких пределах, изменения состава нефтяных углеводородов (УВ) в процессе биodeградации, а также из-за свойств самих почв идентифицировать нефтезагрязнение в объектах окружающей среды довольно трудная задача, решение которой требует привлечения целого комплекса физико-химических методов анализа [1-3]. Нефтяные УВ обладают различной устойчивостью к процессам биodeградации, сначала биodeградации подвергаются относительно легкие н-алканы, монометилалканы и только затем уже изопреноиды [4, 5]. Накопление более сложных и разветвленных молекул, с циклической структурой и увеличение молекулярного веса в гомологических рядах УВ приводит к нарастанию токсичности нефтезагрязнения. Особенно опасны для окружающей среды полициклические ароматические УВ, некоторые из которых обладают канцерогенными свойствами [3]. Смолы и асфальтены наиболее устойчивые соединения и процесс их метаболизма идет медленно. В связи с этим, для определения качественного состава загрязнения и его изменения в процессе биodeградации необходимы исследования с применением комплекса современных методов анализа [1-3].

Для оценки эффективности биологических способов очистки почв от нефтезагрязнений необходимо знать химический состав исходных загрязненных почв и почв после очистки. Только по направленному изменению состава нефтяных УВ, указывающему на происходящие процессы биodeградации, можно оценить эффективность разрабатываемых технологий биочистки почв.

В наших исследованиях из почв методом холодной экстракции хлороформом извлекают хлороформенные битумоиды (ХБ), которые исследуют с применением комплекса аналитических методов: ИК-Фурье спектроскопии для изучения структурно-группового состава ХБ; жидкостно-адсорбционной колоночной хроматографии для определения группового компонентного состава ХБ; хромато-масс-спектрометрии для определения индивидуального состава насыщенных УВ, высокоэффективной жидкостной хроматографии для определения количества и состава полициклических ароматических соединений [2].

В качестве примера показаны возможности методов анализа при проведении экспериментальных работ по биологической очистке нефтезагрязненных почв с применением разработанного в институте биопрепарата на основе аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов на территории Ленского района Республики Саха (Якутия) [6]. Материалом для исследований послужили мерзлотные почвы до и после проведения биологической очистки. Пробы отбирали в течение двух полевых сезонов с мая по сентябрь.

Исходное содержание НП в почвах составляло в среднем 32223 мг/кг. В течение всего эксперимента в почвах наблюдалась четко выраженная динамика снижения остаточного содержания НП по сравнению с контрольным участком, где очистка не проводилась. Через 2 сезона после биологической очистки концентрация НП в почвах снизилась до 5130 мг/кг (табл. 1).

Снижение концентрации НП сопровождалось изменениями в химическом составе нефтезагрязнения. По данным ИК-Фурье спектроскопии в процессе биodeградации нефтезагрязнения отмечено постепенное увеличение количества кислородсодержащих соединений – карбонильных групп (полоса поглощения 1710 см^{-1}), эфирных связей (1170 см^{-1}), гидроксильных групп ($3300\text{--}3400\text{ см}^{-1}$). Это отражает процессы окисления нефтяных УВ с образованием карбоновых кислот и сложных эфиров. В результате отмечается увеличение в 5,5 раз относительных коэффициентов поглощения карбонильных групп D_{1700}^1 и в 4 раза эфирных связей D_{1170}^1 по отношению к углеводородным (табл. 1).

В групповом компонентном составе ХБ в почвах после очистки количество УВ компонентов уменьшилось в 2 раза и значительно увеличилось содержание смолисто-асфальтеновых компонентов по сравнению с контролем, где динамика менее выражена (табл. 1).

Изменился и состав насыщенных УВ как по соотношению внутри гомологических рядов, так и между различными рядами гомологов. В их составе увеличилось содержание н-алканов, а среди них высокомолекулярных соединений. Максимум н-алканов сместился с $nC_{15,17}$ на nC_{27} , снизилось содержание изопреноидов. Значительно увеличилось значение индекса нечетности СРІ (табл. 1). Отношение $Pg+Ph/nC_{17}+nC_{18}$ постепенно увеличивалось и к концу эксперимента в 2,7 раз превысило значение исходного загрязнения (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика группового состава ХБ и насыщенных УВ проб почв опытных участков

Показатели	Исходное загрязнение	После биологической очистки		Контроль через 2 сезона
		1 сезон	2 сезон	
Содержание НП, мг/кг	32223	14797	5130	28598
Относительные коэффициенты поглощения кислородсодержащих групп:				
D_{1700}^I	0,09	0,11	0,47	0,09
D_{1170}^I	0,08	0,11	0,31	0,10
Групповой состав ХБ: УВ, %	70	54	35	50
Смолы+асфальтены, %	30	46	65	47
Групповой состав алкановых УВ,% на Σ идентифицированных алканов: н-алканы	49,73	57,70	74,99	36,98
изопреноиды	19,16	25,00	12,56	34,67
2-и 3-метилалканы	13,51	7,99	10,21	10,58
12-и 13-метилалканы	17,60	9,31	2,24	17,77
н.к.- nC_{20}/nC_{21} -к.к.	1,17	1,40	0,13	1,12
Максимум н-алканов	$nC_{15,17}$	nC_{15} и nC_{25-27}	nC_{27}	$nC_{15,17}$
Индекс нечетности СРІ	1,05	1,11	6,53	1,12
Изопреноиды/н-алканы	0,39	0,43	0,17	0,94
$Pg+Ph/nC_{17}+nC_{18}$	1,17	1,99	2,66	2,01

Таким образом, экспериментально установлено, что в процессе биодegradации уменьшилось остаточное содержание НП, в их составе – низкомолекулярных н-алканов, увеличилось – изоалканов и кислородсодержащих соединений, что доказывает протекание процессов биохимического окисления УВ. Использование аналитических возможностей различных методов и их сочетание позволяют, наряду с определением содержания НП, определять качественный состав нефтезагрязнения и его изменения в процессе биодegradации, что важно при создании новых эффективных технологий для биоочистки почв.

Исследования выполнены в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ №122011200369-1 с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН в рамках гранта №13.ЦКП.21.0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Темердашев, З.А. О некоторых методических аспектах оценки нефтяного загрязнения водных объектов с учетом дegradации нефтепродуктов во времени [Текст] / З.А. Темердашев, Л.Ф. Павленко, И.Г. Корпакова [и др.] // Аналитика и контроль. 2016. № 3. – 2016. – Т. 20. – №. 3. – С. 225-235.
2. Глянцева, Ю.С. Нефтезагрязнение почвогрунтов и донных отложений на территории Якутии (состав, распространение, трансформация) [Текст] / Ю.С. Глянцева. – Якутск: Асхаан. – 2010. – 160 с.
3. Бродский, Е.С. Идентификация нефтепродуктов в объектах окружающей среды с помощью газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии [Текст] / Е.С. Бродский, И.М. Лукашенко, Г.А. Калинкевич [и др.] // Журнал аналитической химии. – 2002. – Т. 57, №. 6. – С. 592-596.

4. Оборин, А.А. Нефтезагрязненные биоценозы (Процесса образования, научные основы восстановления, медико-экологические проблемы). Монография [Текст] / А.А. Оборин, В.Т. Хмурчик, С.А. Иларионов. – 2008. – С. 104-127.
5. Margesin R., Schinner F. Biodegradation and bioremediation of hydrocarbons in extreme environments [Text] / R. Margesin, F. Schinner // Applied microbiology and biotechnology. – 2001. – Vol. 56. – P. 650-663.
6. Пат. РФ № 2565549 МПК В09С 1/10 В01J 20/16 С09К 17/40 С12N 11/14 С12N 1/20 С12R 1/07 С12R 1/425. Биопрепарат для биоремедиации нефтезагрязненных почв для климатических условий Крайнего Севера [Текст] / Л.А. Ерофеевская, Ю.С. Глянцева; патентообладатели: ООО "Транснефть-Восток", ОАО "АК "Транснефть", ООО "НИИ Транснефть". – № 2013155969/10; заявл. 17.12.2013; опубл. 20.10.2015, Бюл. № 29.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА АИ-100-К5

Жирков Н.П., Филиппов М.А.

СВФУ, Якутск, Россия

mr.filippov00@gmail.com

“INVESTIGATION OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF AI-100-K5 AUTOMOBILE GASOLINE”

Автомобильное топливо играет важную роль в современном мире, особенно в России. В стране потребляется около 64 млн. тонн топлива в год, занимая 19 место в мире по этому показателю. Популярностью пользуются дизельное топливо, бензин АИ-92, АИ-95 и АИ-98, в то время как бензины АИ-80 и АИ-76 теряют свою актуальность из-за более высоких требований октанового числа двигателей. В будущем ожидается рост спроса на топлива с октановым числом выше 98, так как увеличивается количество автомобилей с более мощными и современными двигателями. В настоящее время производится 250 тыс. тонн таких топлив, но эта цифра должна значительно увеличиться.

Целью данной работы является исследование физико-химических характеристик высокооктанового бензина АИ-100 (СТО 44905015-005-2017) в весенне-летний период.

Высокооктановый автомобильный бензин марки АИ-100-К5, отобранный на заправке компании «Сибойл» по адресу ул. Дежнева, 77Б.

Пробы исследуемого бензина покупали в объеме 2 литра, через каждые 10 календарных дней по следующим датам: Проба 1 – 30 апреля; Проба 2 – 10 мая; Проба 3 – 20 мая; Проба 4 – 1 июня; Проба 5 – 10 июня.

Полученные в режиме «Octane1» прибора SHATOX-150-SX. В данном режиме прибор был откалиброван по первому отобранному образцу бензина АИ-100 по показателю ОЧИ. Октановое число ОЧИ для всех последующих образцов не ниже 100 единиц, установленных по первому образцу.

В целом из результатов, октановое число исследованного бензина выше, чем октановое число бензина АИ-98 (ОЧИ не менее 98, ОЧМ не менее 85).

Таблица 2 – Результаты определения фракционного состава и ДНП

Показатели	30 апреля	10 мая	20 Мая	1 Июня	10 июня
Объёмная доля испарившегося бензина, %, при температуре 70°C (И70)	22	21,85	20,0	19,3	19,3
100°C (И100)	46,3	45,8	43,6	42,5	42,9
150°C (И150)	88,6	87,0	86,3	83,2	87,3
Температура конца кипения, °C.	197,95	197,85	197,15	198,5	193,8
Температура начала кипения, °C.	34,0	33,65	32,15	33,7	32,9
Остаток в колбе, % в объеме	1,45	1,2	1,05	1,1	1,1
Давление насыщенных паров (ДНП), кПа:	71,8	71,6	69,4	65,2	65
Максимальный индекс паровой пробки (ИПП) ИПП=10ДНП+7(И70)	872	869	834	787,1	785,1

Как видно из табл. 1 по расчетам индекса паровой пробки (ИПП), бензин переходного класса F1 не реализуется в весенний период. Для более точной интерпретации полученных результатов

нужно сравнить экспериментальные данные из Таблицы 2 с рекомендуемыми в ГОСТ Р 51866.

Так, в Республике Саха (Якутия) в летний период с 15 июня по 31 августа рекомендуется реализовывать бензин класса испаряемости С. В весенний период с 15 мая по 15 июня и в осенний период с 1 октября по 1 сентября рекомендуется реализовать бензин класса испаряемости F1. А в зимний период с 15 октября по 15 мая – бензин класса испаряемости F.

Как видно, объёмная доля испарившегося бензина при температуре 70°C после 10 мая становится ниже 20%. Также, если сравнить показатель ДНП видно, что с 20 мая давление насыщенных паров реализуемого бензина становится ниже 70 кПа. Это говорит о том, что после майских праздников, на автозаправку привозят бензин летнего класса А или В и заполняют им резервуар, в котором находился бензин этой же марки, но зимнего класса F.

Таблица 3 – Результаты испытаний на содержание серы в образцах бензина АИ-100-К5

Образец	Результат первого испытания, мг/кг	Результат второго испытания, мг/кг	Среднее содержание серы, мг/кг
30 апреля	5	5,5	5,25
10 мая	7	6	6,5
20 мая	4	5	4,5
1 июня	3	3	3,0
10 июня	6	5	5,5

По экологическим требованиям действующих ГОСТ на автомобильные бензины, содержание серы не должно превышать 10 мг/кг. Как видно из Таблицы 10 отклонений значений от нормативов не наблюдается, воздушную все получения пробы перегонки соответствуют требованиям положения стандарта на бензины СТО 44905015-005-2017.

Таблица 4 – Результаты измерения плотности в образцах бензина АИ-100

Дни отбора пробы из АЗС	Плотность бензина (г/см ³ при 15°C.)	Плотность бензина (г/см ³ при 20°C.)
30 апреля	0,741	0,737
10 мая	0,739	0,735
20 мая	0,743	0,739
1 июня	0,741	0,737
10 июня	0,743	0,739

Как видно, плотность бензинов лежит в рекомендуемых 0,725-0,775, что говорит о том, что бензин АИ-100-К5 соответствует СТО 44905015-005-2017.

Таким образом Республике Саха (Якутия) в летний период с 15 июня по 31 августа рекомендуется реализовывать бензин класса испаряемости С. В весенний период с 15 мая по 15 июня и в осенний период с 1 октября по 1 сентября рекомендуется реализовать бензин класса испаряемости F1. А в зимний период с 15 октября по 15 мая – бензин класса испаряемости F. Как показывают результаты анализа фракционного состава объёмная доля испарившегося бензина при температуре 70°C после 10 мая составляет менее 20% по массе (класс А и В), против рекомендуемых 22% (класс F и F1. Также видно, что с 20 мая давление насыщенных паров реализуемого бензина становится ниже 70 кПа. Это говорит о том, что после майских праздников, на автозаправку привозят бензин летнего класса А или В и заполняют им резервуар, в котором находился бензин этой же марки, но зимнего класса (F). Как видно по расчетам индекса паровой пробки, бензин переходного класса F1 не реализуется в весенний период.

Как показывают испытания, октановое число по исследовательскому методу для всех последующих образцов не ниже 100 единиц, установленных по первому образцу. В целом, как видно из результатов по другим режимам, прибор показывает близкие к 100 октановые числа.

Секция № 3: Биотехнологии и материалы медицинского назначения

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ

Березина Е.М., Латыпов А.Д., Ширин К.Н., Коваль Е.О., Аншин С.М., Ботвин В.В.

Центр исследования компаундов НОЦ ПИИШ «Агробиотек, НИ ТГУ, Томск, Россия

emberz@yandex.ru

“STUDY OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF MODIFIED COMPOSITIONS BASED ON POLYLACTIC ACID”

Полимолекулярная кислота (ПМК) представляет собой термопластичный, биоразлагаемый и экологически безопасный полимер, применяемый для получения упаковки, нетканых полотен, в автомобильной промышленности, а также в медицине [1]. Присущая ПМК хрупкость препятствует ее потенциальному применению [2]. Смешивание ПМК с различными пластификаторами является экономически эффективным способом улучшения ее деформационных свойств [3]. Таким образом, разработка новых композиций ПМК с улучшенными свойствами является актуальной задачей. В работе исследовались 2 марки ПМК с разными молекулярными массами (ММ) ПМК 110 и ПМК 210 (ММ 110 000 и 210 000, соответственно) и разной степенью кристалличности (43 и 1,5 %, соответственно). Для образцов характерны высокие модули упругости при растяжении и малые значения относительного удлинения при разрыве. С целью получения композиций для переработки методами экструзии с раздувом, литьем под давлением и термоформованием были получены 7 образцов с модификаторами различного состава (табл. 1).

Таблица 1 – Состав композиций на основе ПМК

Наименование компонента	Содержание в композиции, масс.%				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 7
ПМК110	79,7	84,7	84	91,5	-
ПМК210	-	-	-	-	89,5
ПБАТ ^а	-	-	-	5	-
Пропилен карбонат	16	-	-	-	-
Белая сажа БС 120	4	-	-	3	-
Полиэтиленовый воск	0,3	0,3	-	-	0,5
ПЭГ 4000 ^б	-	15	-	-	-
ПЭГ 6000 ^в	-	-	15,4	-	-
Титанат ТТС 21	-	-	0,3	0,5	-
Процесиинговая добавка P05 TY	-	-	0,3	-	-
Меловой концентрат V4 PE-178	-	-	-	-	10
<i>Примечание: а) Полибутилен адипат/терефталат, б) Полиэтиленгликоль (ММ 4000), в) Полиэтиленгликоль (ММ 6000)</i>					

Было обнаружено изменение свойств композиций в течение 3-х недель на основании измеренных физико-механических характеристик (табл. 2).

Таблица 2 – Изменение физико-механических свойств композиций ПМК в динамике

Неделя	Модуль упругости при растяжении (E), МПа	Прочность при разрыве (σ_p), МПа	Относительное удлинение при разрыве (ϵ_p), %
Образец 1			
0	410	14,61	320,7
1	629	19,58	104,2
2	885	24,65	45,56
3	1202	26,14	38,01
Образец 2			

0	998	23,6	236,6
1	1551	27,06	146,2
2	1240	30,97	148,4
3	1674	31,89	254,3
Образец 3			
0	958	23,16	222,0
1	999	25,91	204,0
2	1776	32,21	234,0
3	2053	36,55	175,6
Образец 4			
0	1973	47,79	3,376
1	2253	43,86	5,480
2	2155	45,52	4,697
3	2586	50,0	3,013
Образец 7			
0	1921	43,31	13,00
1	2239	42,44	9,90
2	2077	46,02	6,67
3	3065	47,94	4,370

Сравнение свойств немодифицированных образцов ПМК и композиций говорит о том, что добавки вызывают существенные изменения свойств компаундов. Характеристики исходных образцов 1, 2 и 3, в отличие от ПМК, попадают в целевые диапазоны материалов для производства пленочных изделий, например, продовольственных пакетов. Однако, в течение 3-х недель наблюдений свойства этих образцов претерпевают изменения: возрастают модуль упругости (в 1,5-2,5 раза) и прочность при разрыве (в 0,6-0,75 раза), относительное удлинение имеет тенденцию к уменьшению (в наибольшей степени это выражено у образца 1). Изменение физико-механических характеристик с течением времени может быть обусловлено выпотеванием пластификатора из-за его низкомолекулярной природы. Меньшая ММ пропилен карбоната способствует его выпотеванию в большей степени по сравнению с образцами 2 и 3, модифицированными ПЭГ. Полученные показатели по образцам 1-3 не соответствуют целевым для получения пленочных материалов.

Образцы 4 и 7 существенно отличаются по физико-механическим свойствам от образцов 1-3. Высокие значения модуля упругости образцов 4 и 7 дают представление о жесткости материала, причем в течение 3-х недель наблюдается рост этого параметра и, соответственно, увеличение жесткости. Материалы с подобными характеристиками могут быть использованы для литья под давлением и/или термоформования.

Таким образом, были предложены рецептуры композиции ПМК с различными модифицирующими добавками. Было показано, что при хранении модифицированных образцов при комнатной температуре наблюдается постепенное изменение их физико-механических свойств в сторону достижения наиболее оптимальных показателей у образцов 4 и 7. В то же время, образцы 1-3 при хранении ухудшают свои свойства.

Авторы заявляют, что была получена финансовая поддержка для исследования, авторства и/или публикации данных тезисов. Работа выполнена при поддержке Гранта No 075-15-2022-1152 (Постановление No 619 от 8 апреля 2022 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Jamshidian, M., Poly-lactic acid: production, applications, nanocomposites, and release studies [Text] / M. Jamshidian, E.A. Tehrani, M. Imran [et al.] // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. – 2010. – Vol. 9. No. 5. – P. 552–571.
2. Nagarajan, V. Perspective on polylactic acid (PLA) based sustainable materials for durable applications: focus on toughness and heat resistance [Text] / V. Nagarajan, A.K. Mohanty, M. Misra // ACS Sustain. Chem. Eng. – 2016. – Vol. 4. No. 6. – P. 2899–2916.
3. Kodal, M. Long- and short-term stability of plasticized poly(lactic acid): effects of plasticizers type on thermal, mechanical and morphological properties [Text] / M. Kodal, H. Sirin, G. Ozkoc // Polym. Bull. – 2019. – Vol. 76. No. 1. – P. 423–445.

ПОЛУЧЕНИЕ БРУШИТА И ГИДРОКСИАПАТИТА В ПРИСУТСТВИИ ХИТОЗАНА, ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ФАЗОВОГО СОСТАВА

Билль В.А., Титова С.Д., Садыков Р.Т., Лыткина Д.Н.

НИ ТГУ, Томск, Россия

billyva01@yandex.ru

“PREPARATION OF BRUSHITE AND HYDROXYAPATITE IN THE PRESENCE OF CHITOSAN,
STUDY OF THEIR PHASE COMPOSITION”

Для создания имплантов часто рассматривают применение биокompозитов, основными требованиями к которым являются биосовместимость и биологическая активность. Всё это необходимо для того, чтобы материалы были устойчивы к биологическим процессам в организме и не вызывали негативных реакций со стороны иммунной системы.

В создании биокompозитов нашли своё применение фосфаты кальция и различные полимеры, а именно такие материалы как брушит, гидроксиапатит и хитозан [1]. Брушит является материалом с высокой биосовместимостью и активно используется для создания стоматологических конструкций. Гидроксиапатит обладает сходством с компонентами костных тканей и широко применяется в ортопедии и травматологии. С целью разработки материалов изучен хитозан, простейшее производное хитина. Хитозан представляет собой аморфно-кристаллический полимер, нерастворимый в воде, но растворяющийся в разбавленных кислотах. К уникальным биологическим свойствам хитозана относят бактерицидную и ранозаживляющую активность, проявление иммуномодулирующее действие, а также способность снижать уровень холестерина в крови. Сочетание природного полимера хитозана с фосфатами кальция позволяет создать биокompозиты с высокой биосовместимостью и биоактивностью.

Целью данной работы является создание композиционного материала на основе брушита и гидроксиапатита в присутствии хитозана и исследование состава полученных материалов.

Синтез композиционных материалов осуществлялся в лабораторных условиях [2]. Для синтеза композита хитозан/брушит растворы гидрофосфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (0,25 моль/л) и нитрата кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0,25 моль/л) по 100 мл готовили при температуре 25°C. В колбы с раствором гидрофосфата аммония добавляли соответственно 0,1, 0,4, 0,8 г хитозана. pH доводили до 5,5 15%-ным раствором HNO_3 . Композит хитозан/гидроксиапатит был получен аналогичным образом, к раствору $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (0,2 моль/л) добавляли раствор $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ той же концентрации, масса добавленного полимера составила 0,1, 0,4 и 0,8 г, но pH доводили до 12 добавлением концентрированным раствором аммиака. Растворы $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ и $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ смешивали, полученную суспензию полимера перемешивали при помощи магнитной мешалки в течение 15 мин. Образовавшиеся белые осадки выдерживали в течение 72 часов, затем отфильтровывали, промывали и высушивали в сушильном шкафу при температуре 80°C до полного удаления воды. Получены образцы с массовым содержанием хитозана 0,05, 0,2 и 0,4 мас. %.

Исследование фазового состава проводилось на дифрактометре XRD-6000. Морфология полученных композитов была исследована с помощью системы с электронным и сфокусированным ионным пучком Quanta 200 3D при напряжении 5 кВ. Исследования выполнены в Материаловедческом центре коллективного пользования ТГУ, г. Томск.

Методом рентгенофазового анализа установлено, что композиты хитозан/брушит содержат фазу брушита, хитозан выпал в осадок в аморфном виде. Образцы хитозан/гидроксиапатит содержат две фазы хитозана и гидроксиапатита соответственно. Посторонних рефлексов не обнаружено.

Исследование морфологии поверхности композитов хитозан/брушит показало, что образцы представлены пластинчатыми частицами (рис.1). Средний диаметр частиц был рассчитан с помощью программы ImageG и находится в пределах 5-6 мкм.

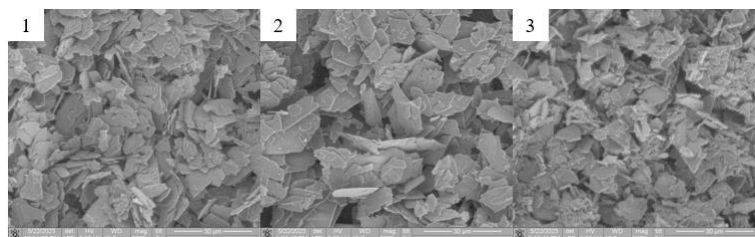


Рисунок 1 – СЭМ изображения поверхности композитов хитозан/брушит. 1 – 0,05 мас.% хитозана, 2 – 0,2 мас.%, 3 – 0,4 мас.%

Образцы композитов хитозан/гидроксиапатит представлены агломератами частиц неправильной формы (рис.2). Средний диаметр частиц находится в интервале от 5 до 8 мкм.

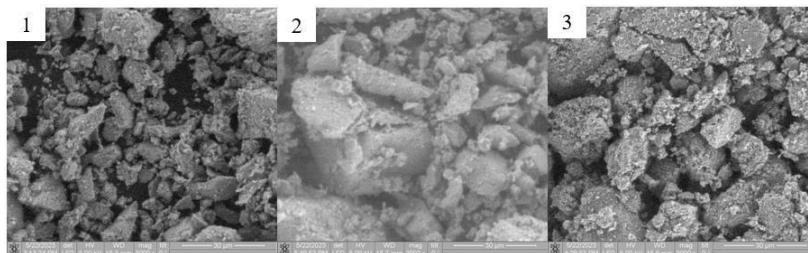


Рисунок 2 – СЭМ изображения поверхности композитов хитозан/гидроксиапатит. 1 – 0,05 мас.% хитозана, 2 – 0,2 мас.%, 3 – 0,4 мас.%

Были получены композиционные материалы брушита и гидроксиапатита с содержанием хитозана 0,05, 0,2, и 0,4 мас. %. Методом рентгенофазового анализа установлено, что композитные материалы являются бифазными, посторонних рефлексов не обнаружено. Композиты хитозан/гидроксиапатит содержат фазы хитозана и гидроксиапатита, композиты хитозан/брушит представлены фазами хитозана и брушита. Морфология композитов брушита представлена пластинчатыми частицами со средним размером в пределах 5-6 мкм, композиты гидроксиапатита представляют собой частицы неправильной формы со средним размером в интервале от 5 до 8 мкм.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Fadeeva, T.V. Physicochemical properties of brushite and hydroxyapatite prepared in the presence of chitin and chitosan [Text] / T.V. Fadeeva, O.A. Golovanova // Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2019. – Vol. 64. – P. 847-856.
2. Thanaphat, P. Chitosan/calcium phosphate composites scaffolds prepared by membrane diffusion process [Text] / P. Thanaphat, P. Thunyakitpisal, W. Techaboonyakiat // Journal of Metals, Materials and Minerals. – 2008. – Vol. 18, No. 2. – P. 67-71.

ПЛАЗМЕННОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЫ

Брюзгина А.А., Лапуть О.А., Курзина И.А.

НИ ТГУ, Томск, Россия

bryuzgina2016@mail.ru

“PLASMA MODIFICATION OF SURFACE PROPERTIES OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE FOR SOLVING PROBLEMS OF MODERN MEDICINE”

На сегодняшний день основной проблемой имеющих синтетических протезов для сердечно-сосудистой хирургии является высокий риск развития тромбоэмболических осложнений, в связи с чем пациенты вынуждены прибегать к повторным операциям. Расширенная форма политетрафторэтилена (ePTFE) широко используется при изготовлении искусственных кровеносных сосудов благодаря его физико-механическим свойствам и высоким показателям биостабильности [1]. Недостаточное количество центров клеточной адсорбции на поверхности изделий из ePTFE и, как следствие, низкие значения свободной поверхностной энергии могут приводить к тромбообразованию и кальцификации изделий на его основе [2]. Достичь желаемых характеристик поверхности возможно за счет активирования поверхности политетрафторэтилена (ПТФЭ) азотной плазмой, способствующей появлению новых кислород- и азотсодержащих функциональных групп, которые, в свою очередь, увеличивают смачиваемость поверхности. Целью данной работы являлось исследование влияния низкотемпературной плазмы азота на поверхностные физико-химические свойства материалов ПТФЭ.

Для исследования были взяты имеющиеся в продаже протезы для сердечно-сосудистой хирургии на основе вспененного ПТФЭ (GORE-TEM®) [3]. Обработка экспериментальных образцов осуществлялась с использованием плазмогенератора «ПИНК» в потоке азота с длительностью воздействия 5, 10, 20 и 30 минут [4]. Исследование элементного и химического состава поверхности модифицированных материалов осуществлялось методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) с использованием установки RNIХ-toolautomated XPS microprobe. Полученные результаты обрабатывались с помощью программы CasaXPS. Смачиваемость поверхности образцов до и после плазменного модифицирования оценивали посредством измерения краевого угла смачивания между каплей контактной жидкости (глицерин и вода) и поверхностью материала методом лежащей капли на установке EasyDrop (KRUSS, Германия) с использованием ПО DSA1 (KRUSS, Германия).

По результатам РФЭС в поверхностном слое плазменно-модифицированных образцов наблюдается формирование двух новых пиков с энергией связи $E_{св(O1s)} = 532,00$ эВ и $E_{св(N1s)} = 399,00$ эВ. Кислород на поверхности образцов после обработки может быть обусловлен окислением поверхности и образованием ковалентных кислородсодержащих поверхностных групп. Также наблюдается уменьшение атомного содержания фтора, что свидетельствует о дефторировании поверхностного слоя (табл. 1). Образование атомарного азота с рабочим газом, используемым при обработке поверхности исследуемых образцов – азот.

Таблица 1 – Атомное содержание основных элементов в ПТФЭ до и после плазменной обработки

Образец	Атомное содержание основных элементов, ат. %			
	C	F	O	N
Исходный ПТФЭ	33,2±0,1	66,7±2,3	-	-
ПТФЭ+плазма N ₂ 5 мин	30,6±0,9	57,2±1,7	5,5±0,2	6,6±0,2
ПТФЭ+плазма N ₂ 10 мин	34,1±1,0	49,6±1,5	7,2±0,2	9,1±0,3
ПТФЭ+плазма N ₂ 20 мин	29,1±0,8	50,6±1,5	7,5±0,2	12,7±0,4
ПТФЭ+плазма N ₂ 30 мин	28,4±0,8	51,9±1,6	7,1±0,2	12,6±0,4

Анализируя спектры C1s и микроокружение атома углерода, было предположено образование новых химических связей в поверхностном слое ПТФЭ. Согласно результатам РФЭС-спектров C1s для образцов ПТФЭ происходит уменьшение доли связи -CF₂- в 2,5 раза с одновременным увеличением доли связи -C-C- в 1,5 раза при длительности воздействия плазмой в течение 5 минут, что свидетельствует о вероятном протекании процессов разрыва полимерных связей, сшивки полимерных макромолекул и дефторирования поверхности ПТФЭ. При длительности воздействия 20 и 30 минут наблюдается появление компонента -C-NH_x с энергией связи 286,4 эВ. В таблице 2 приводятся результаты деконволюции C1s регионов фотоэлектронных спектров плазменно-модифицированных образцов.

Таблица 2 – Положение линий C1s и содержание связей в ПТФЭ

Образец ПТФЭ	Окружение атома углерода на уровне C1s в спектре РФЭС, ат. %					
	-C-C/C-H	-C-O	-C-F/O=C-O	-CF ₂	-C-NH _x	-CF ₃
	Энергия связи, эВ					
	285,6	287,9	289,5-290,4	292,5	286,4	294,3
Исходный ПТФЭ	16,2±0,5	-	-	83,8±2,5	-	-
ПТФЭ+плазма N ₂ 5 мин	31,8±0,9	4,9±0,2	18,9±0,6	44,8±1,3	-	-
ПТФЭ+плазма N ₂ 10 мин	33,4±1,0	18,9±0,5	13,5±0,4	20,4±0,6	-	13,8±0,4
ПТФЭ+плазма N ₂ 20 мин	31,3±0,9	5,0±0,3	12,4±0,4	47,9±1,4	3,4±0,1	-
ПТФЭ+плазма N ₂ 30 мин	21,4±0,6	6,1±0,3	25,5±0,8	38,5±1,2	3,9±0,1	4,7±0,1

Наименьшее значение краевого угла смачивания (КУС) достигается для образца, обработанного плазмой азота в течение 30 минут (98,7° и 95,3°) относительно исходного образца ПТФЭ (129,7°, 120,9°) при контакте поверхности с водой и глицерином, соответственно (рис. 1, а). При этом максимальное значение свободной поверхностной энергии (ПЭ) (34,87 мН/м) достигается при времени обработки 30 мин относительно значения ПЭ для исходного ПТФЭ (15,61 мН/м) с преобладанием

полярной компоненты (рис. 1, б). Данные результаты указывают на улучшение гидрофильных свойств поверхности ПТФЭ.

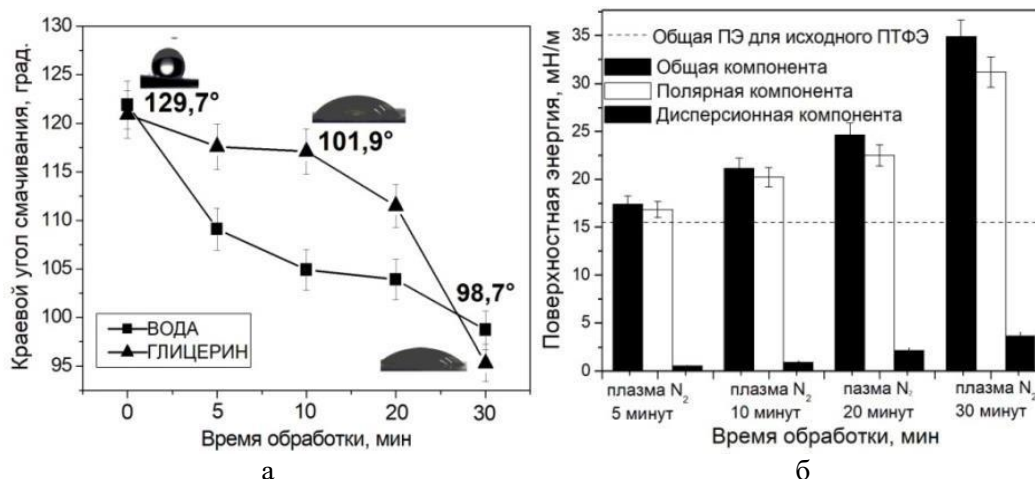


Рисунок 1 – Характеристики смачиваемости образцов ПТФЭ

(а – зависимость КУС от длительности воздействия; б–зависимость ПЭ от длительности воздействия)

Таким образом, показано, что плазменная обработка поверхности ПТФЭ приводит к активации его поверхности, сопровождающей образование поверхностных кислородсодержащих (-С-О, О=С-О) и азотсодержащей (-С-NH_x) связей. Выявлено, что в условиях плазменной обработки наблюдается протекание параллельных процессов разрыва и сшивки полимерных связей, а также дефторирование поверхности ПТФЭ. Появление новых поверхностных групп оказывает влияние на увеличение свободной поверхностной энергии (с 15,61 до 34,87 мН/м), что свидетельствует об улучшении гидрофильных свойств поверхности материалов.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Wang G. // Regenerative Biomaterials. 2023.
2. Wilson, D.J. Plasma modification of PTFE surfaces. Part I: Surfaces immediately following plasma treatment [Text] / D.J. Wilson, R.L. Williams, R.C. Pond // Surface and Interface Analysis. – 2020. – Vol. 31. No. 5. – P. 385–396.
3. Wang, H. Effect of surface structure on the antithrombogenicity performance of poly(-caprolactone)-cellulose acetate small-diameter tubular scaffolds [Text] / H. Wang, H. Xia, Z. Xu [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2023. – Vol. 226. – P. 132-142.
4. Laput, O.A. Effect of Nitrogen Arc Discharge Plasma Treatment on Physicochemical Properties and Biocompatibility of PLA-Based Scaffolds [Text] / O.A. Laput, I.V. Vasenina, A.G. Korzhova [et al.] // Polymers. – 2023. – Vol. 15. – P. 3381.

РАЗРАБОТКА ГУБНОЙ ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ПОМАДЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛАТА ТИМЬЯНА И ПЧЕЛИНОГО ВОСКА ЯКУТИИ

Васильева А.В., Болдонова А.Э.

СВНЦ СВФУ, Якутск, Россия

“DEVELOPMENT OF HYGIENIC LIPSTICK BASED ON THYME HYDROLATE AND YAKUTIAN BEESWAX”

Известно, что кожа губ отличается более тонким эпителием и содержит небольшое количество сальных желез, поэтому губы изначально склонны к сухости. Зимой кожа губ испытывает воздействие низких температур, что способствует к сужению сосудов губ, лишает питательные элементы и влажности. Как результат воздействия низких температур, обычно на губах образуются трещинки, которые могут воспаляться и кровоточить [1]. Косметологи рекомендуют в холодное время года

ухаживать за губами, предлагая к использованию гигиенические помады.

В медицине тимьян известен с древних времен. В литературе имеются многочисленные сообщения об иммуностимулирующем действии экстракта тимьяна, в частности, за счет повышения числа и активности Т-лимфоцитов, прерывания репликации вирусов на ранней стадии развития [2,3]. Эти и другие свойства тимьян используются для создания комбинированных препаратов лечебно-профилактического действия, в частности при гнойных поражениях кожи, инфильтратах, при мокнувших экземах, дерматитах, герпесе. Учитывая то, что проявление трещин, в зимнее время больше наблюдается на губах, разработка базовой лечебно-профилактической помады на основе гидролата тимьяна является актуальной задачей.

Цель исследования - разработка состава базовой композиции профилактической помады на основе гидролата тимьяна и пчелиного воска и проведение испытаний ее эффективности.

Губную помаду готовили методом плавления компонентов. В химический стакан загружали: пчелиный воск, нагревали до 70—80° С, затем к расплавленному воску добавляли масла кокосовое, персиковое, жожоба и нагревали до 70° С, добавляли гидролат тимьяна, витамин А, витамин Е, и нагревали до 65° С, вводили ароматизаторы. Полученную массу дозировали в формы с последующим охлаждением; расфасовывали в баночки. Приготовленные помады представляли собой круглой формы, светло желтого цвета, массой 2,5 г. Пчелиный воск был получен из пчелиных сот в лабораторных условиях из двух разных пасек окрестностей г. Якутска (Намский улус, Окрестности г. Якутска (Владимировка)). Гидролат тимьяна получили методом дистилляции. Мы подготовили два образца помад. Первый образец включал: пчелиный воск, оливковое масло, розовое масло, эфирные масла, касторовое масло, жожоба, персиковое масло, масло зародышей пшеницы и гидролат тимьяна. второй образец: пчелиный воск, оливковое масло, розовое масло, эфирные масла, касторовое масло, жожоба, персиковое масло и масло зародышей пшеницы.

Первоначально определили соотношение твердой и жидкой фазы, при котором температура каплепадения соответствовала требованиям ГОСТ и равна 70° С [4]. Далее мы рассмотрели их физико-химические показатели: кислотное число 6,2; 6,4; мг КОН/г; водородный показатель был равен 5,4; 5,7. У полученных образцов были также оценены органолептические показатели: внешне она была равномерно окрашена, поверхность гладкая и однородная; цвет нежный, свойственный изделию; запах легкий, не резкий, приятный.

Далее оценили эффективность лечебного действия помады на основе гидролата тимьяна в сравнении с бесцветной гигиенической помадой. В результате анализа анкет были получены следующие результаты: Образец №1: 60 % добровольцев наступление лечебного действия отметили на 3 день использования помады. По оценке эффективности помады, 65% дали оценку 9 баллов, 25 % респондентов — 10 баллов, 10 % добровольцев дала оценку 8 баллов. 6 % добровольцев в анкетах указали замечания к горьковатому привкусу тимьяна. Образец №2: 30 % добровольцев отмечали наступления заживляющего действия полученных образцов помады на 5 день, остальные 70 % отметили, исчезновение симптомов в течение 7 день. По оценке эффективности помады, 60% дали оценку 8 баллов, 45 % респондентов — 10 баллов, 5% - дали 9 баллов.

Разработанные нами образцы помад обладали одинаковыми органолептическими показателями: внешний вид - поверхность стержней гладкая, однородная, равномерно окрашенная; цвет - свойственный цвету изделия; запах - свойственный запаху данного изделия. Также не значительно отличались физико-химические свойства помад. Анализ анкетирования добровольцев, определил у образца №1 свойства быстрого заживления поврежденной поверхности кожи губ и снятие раздражения.

Научный руководитель – к.б.н., доцент биологического отделения ИЕН СВФУ Соловьева М.И.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Луцкая, И.К. Заболевание слизистой оболочки рта [Текст] / И.К. Луцкая. – М.: Медицинская литература, 2007. – 224 с.
2. Бубенчикова, В.Н. Аминокислотный, жирнокислотный и полисахаридный состав травы тимьяна Палласа (*Thymus Pallasianus* L.) [Текст] / В.Н. Бубенчикова, Ю.А. Старчак // Химия растительного сырья. – 2014. – №. 3. – С. 191-194.
3. Шереметьева, А.С. Исследование антимикробной активности водно-спиртового экстракта тимьяна маршалла [Текст] / А.С. Шереметьева, Н.А. Дурнова, С.В. Райкова // Современные тенденции развития технологий здоровье сбережения. – 2019. – С. 509-514.
4. Крюкова, Н.В. Разработка лечебно-профилактической губной помады на основе экстракта солодки [Текст] / Н.В. Крюкова, А.С. Гаврилов, И.А. Илющенко [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2009. – №. 2. – С. 167-170.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ 3Д-ПЕЧАТНОГО РЕЕК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД И ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Виндокуров И.В., Пирогова Ю.В., Ташкинов М.А.

ПНИПУ, Пермь, Россия

ivv@pstu.ru

“EXPERIMENTAL STUDY OF THE PROPERTIES OF 3D-PRINTED PEEK UNDER EXPOSURE TO PHYSIOLOGIC ENVIRONMENT AND ELEVATED TEMPERATURES”

В последние годы применение технологий 3D-печати активно развивается в различных областях, включая здравоохранение. Особый интерес для биомедицинских приложений представляет такой полимерный материал как полиэфирэфиркетон (РЕЕК). РЕЕК — это кристаллический полимер, который имеет хорошую термическую стабильность благодаря высокой температуре плавления (300°C). Имея уникальные физико-механические свойства и характеристики, он способен не только конкурировать с металлами, но и успешно их заменять. Данный термопласт безупречно проявляет себя в качестве биосовместимого материала для изготовления медицинских инструментов и имплантов различного типа, а также используется при ортопедических, позвоночных, челюстно-лицевых, черепных хирургических операциях [1, 2].

Важной проблемой является деградация полимерных материалов при взаимодействии с физиологическими средами. Деградация может привести к изменению свойств материала, что негативно скажется на их механических и термических характеристиках. Тема исследования свойств РЕЕК при деградации в различных средах мало изучена. В качестве температуры деградации в большинстве исследований приняты значения 37°C и ниже [3-5]. В данной работе рассмотрены основные аспекты ускоренной деградации образцов из РЕЕК в физрастворе при температурах 45°C и 70°C, а также изменение прочности в зависимости от времени нахождения в NaCl.

Образцы были изготовлены на принтере F2 Lite (F2 Innovations, Russia), нить филамента диаметром 1.75 мм (РЭК, Россия) экструдирована через сопла диаметром 0.4 мм для лопаток и сеток из РЕЕК. Чтобы удалить накопившуюся влагу, нити РЕЕК предварительно высушивались при 120°C в течение 24 ч. Группа образцов на растяжение из РЕЕК после изготовления была подвержена термической обработке: для равномерного нагрева образцы помещены в кварцевый песок и выпекались при 220°C в течение 72 ч с последующим охлаждением до комнатной температуры. Согласно данным производителя, температура стеклования материала составляет приблизительно 200 °C. Кристаллизация происходит в диапазоне от температуры стеклования до температуры плавления (343 °C); из этого диапазона температура термообработки была принята за 220°C. Время выпекания было выбрано таким образом, чтобы на термообработку каждого миллиметра толщины стенок было затрачено 1,5 часа. Температурная камера Binder FP53 (BINDER GmbH, Тутлинген, Германия) была использована для термической обработки образцов и сушки нитей. Перед изготовлением образцов из РЕЕК на поверхность стола был нанесен специальный клей (Erich Krause ® Extra glue stick). Сетки были напечатаны в 1 проход, сначала все линии по горизонтали, потом по вертикали. Геометрия лопатки принята из стандарта ASTM D1708-08. Образцы были печатаны в ориентации 180°C, т.к. в работе [6, 7] показано, что в такой ориентации механические свойства выше всего.

Для определения механических свойств образцов проводились испытания на растяжение на универсальной испытательной машине Instron 68SC-5 с датчиком нагрузки 500Н для сеток при постоянной скорости перемещения 1 мм/мин и 5кН для лопаток (по стандарту ASTM D638-14) при постоянной скорости перемещения 50 мм/мин. Температура окружающей среды во течение эксперимента равна комнатной температуре (~22 °C). Точность измерения нагрузки в диапазоне от 5 Н до 5 кН составляла 0,5% от измеряемой величины, а разрешение перемещения сервопривода - 0,0095 мкм. Механические свойства образцов при растяжении были получены из графика зависимости напряжений от деформации. Для оценки повторяемости каждая конфигурация образца испытывалась не менее семи раз.

Для сравнения было получено значение предела прочности каждого вида образцов, не подвергшихся деградации, и принято за эталонное.

Перед испытанием каждая лопатка была гидростатически взвешена для получения значений плотности до испытания. Для этого использовались лабораторные весы ViBRA ALE-623R (Shinko, Nagano, Japan) с набором для измерения плотности ALE-DK (Shinko, Nagano, Japan). Гидростатическое взвешивание является одним из наиболее точных и удобных методов определения плотности. Он широко применяется в научных и промышленных целях, например, для определения плотности различных материалов [8], контроля качества жидкостей и решения других инженерных задач [9].

Для образцов типа сетка из РЕЕК был оценен предел прочности без термообработки и с ней для различного времени деградации (1, 3, 5 и 7 дней). Независимо от наличия термообработки образцы из РЕЕК показали больших различий значения предела прочности. Отклонение от эталонных значений не превышало 1% что может говорить о том, что РЕЕК слабо подвержен деградации. Такая же тенденция просматривается при исследовании с разной температурой деградации, значения предела прочности колеблются в пределах 1-2%. Данные изменения слишком малы, чтобы говорить об ухудшении свойств при деградации. Также из полученных данных видно, что образцы практически не изменили свою плотность. Для обоих значений исследуемых температур изменение плотности до и после эксперимента составило не более 2%. Это может говорить о том, что при этих температурах РЕЕК не деградирует.

Исследование проведено как для образцов с термообработкой, так и без нее. Полученные результаты демонстрируют снижение предела прочности менее чем на 1% при выбранных температурных режимах деградации. Как показало данное исследование, температура, равная 70°C, недостаточна для начала процесса деградации в жидкости для РЕЕК как с термообработкой, так и без неё.

Образцы из РЕЕК не показали существенных изменений предела прочности при различных временах деградации, исследуемых в данной работе. Анализ результатов показал, что степень деградации не зависит от термообработки. Отклонение всех средних значений по плотности после деградации не превышало 2% от первоначальных значений. Температура, использованная в данной работе, была сильно ниже температуры кристаллизации РЕЕК, что требует дальнейших исследований при более высоких температурах, времени деградации или более агрессивной среде.

Исследование выполнено в Пермском национальном исследовательском политехническом университете в рамках гранта, выделяемого для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях и государственных научных центрах Российской Федерации, соглашение № 075-15-2021-578 от 31.05.2021 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Wang, B. PEEK in Fixed Dental Prosthesis: Application and Adhesion Improvement [Text] / B. Wang, M. Huang, P. Dang [et al.] // Polymers. – 2022. – Vol. 14, No. 12. – P. 2323.
2. Makhkamov, K.E. The use of modern biopolymers in reconstructive operations of the craniofacial region [Text] / K.E. Makhkamov, S.R. Boymenov, M.M. Azizov [et al.] // The Bulletin of Emergency Medicine. – 2022. – Vol. 15, No. 1. – P. 70-75.
3. Bosio, V.E. Biodegradable porous silk microtubes for tissue vascularization / V.E. Bosio, J. Brown, M.J. Rodriguez [et al.] // Journal of Materials Chemistry B. – 2017. – Vol. 5, No. 6. – P. 1227-1235.
4. Singh, B.N. Carboxymethyl cellulose enables silk fibroin nanofibrous scaffold with enhanced biomimetic potential for bone tissue engineering application [Text] / B.N. Singh, N.N. Panda, R. Mund [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2016. – Vol. 151. – P. 335-347.
5. Moetazedian, A. Effect of environment on mechanical properties of 3D printed polylactide for biomedical applications [Text] / A. Moetazedian, A. Gleadall, X. Han [et al.] // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – 2020. – Vol. 102. – P. 103510.
6. Vindokurov, I. Effect of heat treatment on elastic properties and fracture toughness of fused filament fabricated PEEK for biomedical applications [Text] / I. Vindokurov, Y. Pirogova, M. Tashkinov [et al.] // Polymers. – 2022. – Vol. 14, No. 24. – P. 5521.
7. Lobov, E. Effect of short carbon fiber reinforcement on mechanical properties of 3D-printed acrylonitrile butadiene styrene [Text] / E. Lobov, A. Dobrydneva, I. Vindokurov [et al.] // Polymers. – 2023. – Vol. 15, No. 9. – P. 2011.
8. Wang, X. Influence of moisture absorption on mechanical properties and damage mechanisms of three-dimensional six-directional braided composites under hydrostatic pressure [Text] / X. Wang, X. Liu, D. Liu [et al.] // Polymer Testing. – 2022. – Vol. 114. – P. 107693.
9. Kwapisz, R. Quantifying antisite defect concentrations in yttrium aluminum garnet by high-precision density analysis / R. Kwapisz, R. L. Cone, C. W. Thiel // Journal of Luminescence. – 2022. – Vol. 252. – P. 119408.

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА АДГЕЗИВА ПОСТОЯННОЙ ЛИПКОСТИ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА

Винокурова А.В., Местникова Н.Н.

СВФУ, Якутск, Россия

vinokurovaajgula@gmail.com

“STRUCTURAL PROPERTIES OF PERMANENT THICKNESS ADHESIVE FOR MEDICAL PURPOSE BASED ON NATURAL RUBBER”

Требования для медицинских адгезивов постоянной липкости, используемых для фиксации и герметизации на коже пациентов устройств медицинской техники, таких как: компонентов систем забора крови, кало- и мочеприемников, раневых покрытий и др., очень высоки: нетоксичность, не раздражающее действие на кожу, герметичность клеевого соединения с кожей, достаточная сорбционная способность; время эксплуатации (несколько дней), отсутствие следов клея при отслаивании. Это далеко не полный перечень требований. Данный список может быть дополнен с учетом индивидуальных особенностей пациента. Таким образом, выбор компонентов адгезионных материалов медицинского назначения для длительного контакта с кожей человека является актуальным вопросом медицины.

Целью данной работы является исследование клея-адгезива постоянной липкости на основе натурального каучука на структурные свойства.

Объекты исследования были выбраны за счет их натурального происхождения, ими являлись: натуральный каучук (НК) производства SVR - 3L (Duc Thang Co., Вьетнам); сосновая канифоль (Кнф) производства «AVR.group», ГОСТ 19113-84; яблочный пектин (Пкт) производства АО Компания «Проксима», ГОСТ 29186-95; пчелиный воск (ПВ) ООО «Якутский пчелоцентр».

Смешение произведено на лабораторных вальцах Polymix 110L фирмы «Брабендер» (Германия) с использованием миксера В50 ЕНТ с овальными (тангенциальными) роторами «Бенбери» по режимам, принятым для базовой резины. Установленные обороты вальцов: 40 об/мин; заданная температура: 120 °С.

Для исследования структуры клея был проведен анализ ИК-спектров, который был получен с помощью ИК-спектрометра с преобразованием Фурье Varian 7000 FT-IR (Varian, США).

На рис. 1 и 2 приведены результаты ИК-спектров готового клея-адгезива и его наполнителей.

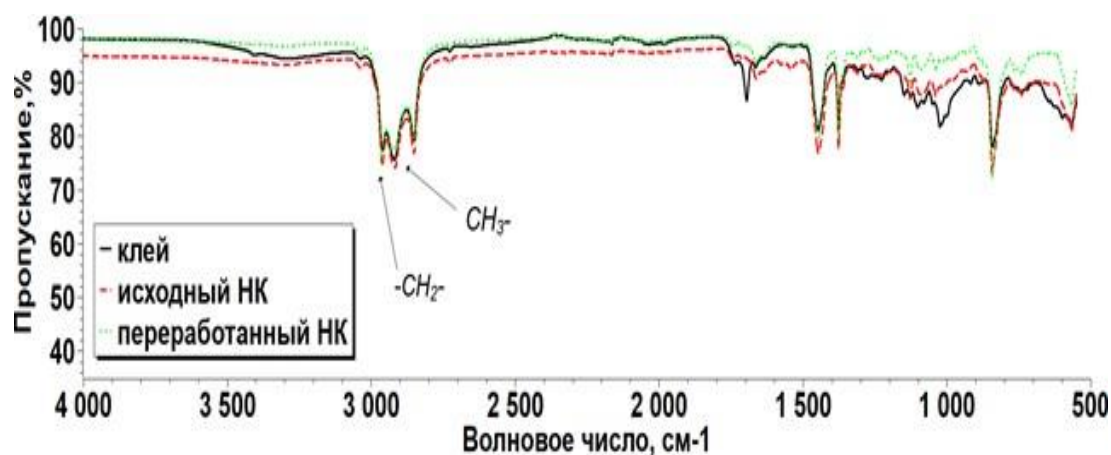


Рисунок 1 – ИК-спектры клея, исходного и переработанного натурального каучука

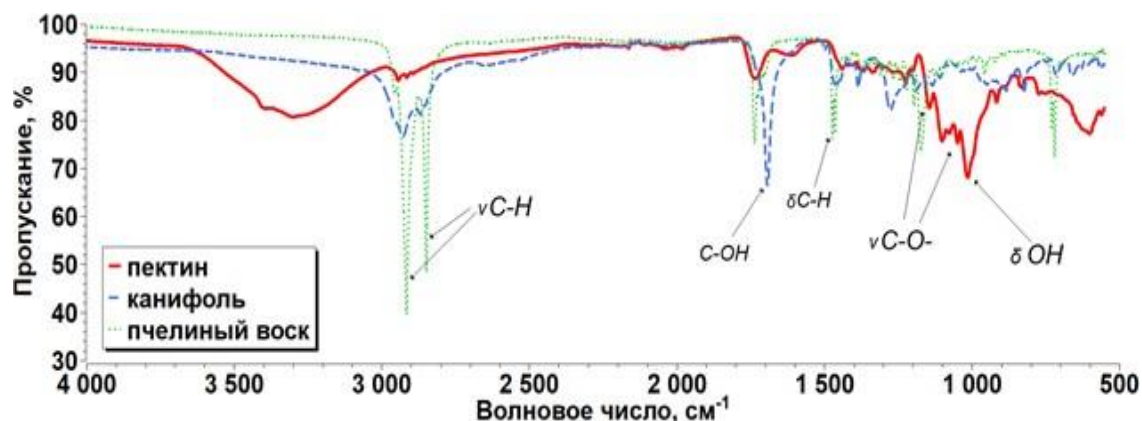


Рисунок 2 – ИК-спектры наполнителей клея

Полученные ИК-спектры клея-адгезива и его компонентов: натурального каучука, канифоли, пчелиного воска и пектина, показали, что у готового адгезива наблюдаются полосы поглощения в диапазоне $2920-2980\text{ см}^{-1}$, которые связаны с колебаниями метильных и метиленовых групп в структуре каучука, полосы 1690 см^{-1} , отвечающие полосам поглощения канифоли, диапазон $1400-920\text{ см}^{-1}$, характерный пектину и полосы $3000-2800\text{ см}^{-1}$ (дублет при $1480-1460\text{ см}^{-1}$), которые соответствуют пчелиному воску [5]. Также можно предположить, что химических реакций между компонентами не происходит ввиду отсутствия новых пиков на спектре.

С помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-7800F (Jeol, Япония) можно получить снимки поверхности материалов в высоком разрешении с увеличением до $\times 1000\ 000$. Полученные микрофотографии поверхности компонентов и готового АПЛ позволят лучше понять структуру клея и влияние на нее наполнителей.

На рис. 3 приведены микрофотографии готового клея-адгезива и его наполнителей.

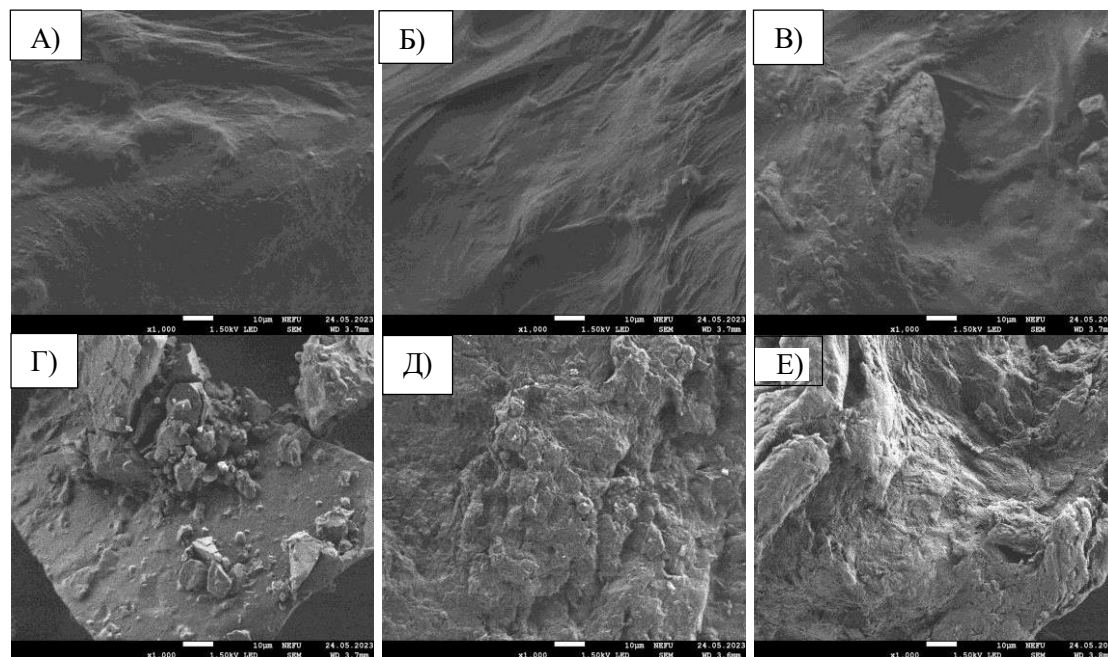


Рисунок 3 – Микрофотографии натурального каучука: а) исходного; б) переработанного; в) готового клея-адгезива; г) сосновой канифоли; д) пектина; д) пчелиного воска в масштабе $\times 1000$

Снимки компонентов клея и готового АПЛ дают понять о морфологии их поверхности и распределению наполнителей в объеме материала. В основном, структура клея осталась такой же, как у натурального каучука, за исключением добавления наполнителей, что видно на фотографиях.

Работа выполнена в рамках Госзадания FSRG-2023-0026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Клеи, адгезия, технология склеивания [Текст] / Пер. с англ. под ред. Комарова Г.В. – СПб.: Профессия, 2007. – 376 с.
2. Поциус, А.В. Клеи, адгезия, технология склеивания [Текст] / Пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2007. – 376 с.
3. Марк, Д. Каучук и резина. Наука и технология [Текст] / Дж. Марк, Б. Эрман, Ф. Эйрич. // Пер. с англ. – Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2011. – 768 с.
4. Штильман, М.И. Полимеры в биологически активных системах [Текст] / М.И. Штильман // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 5. – С. 48–53.
5. Тарасевич, Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений [Текст] / Б.Н. Тарасевич. – М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра органической химии, 2012. – 55 с.

**ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОСТНЫХ ЦЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСИ
ФОСФАТА И СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ И БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИМЕРОВ:
ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА, ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ И
ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА**

Дмитриева Л.Е., Садыков Р.Т., Лыткина Д.Н.

НИ ТГУ, Томск, Россия

lub_dmitrieva@mail.ru

“PREPARATION OF MULTICOMPONENT BONE CEMENTS BASED ON A MIXTURE OF CALCIUM
PHOSPHATE AND SULFATE AND BIOCOMPATIBLE POLYMERS: POLYVINYL ALCOHOL,
POLYETHYLENE GLYCOL AND POLYVINYLPIRROLIDONE”

В сфере медицинских технологий большое внимание уделяется проблеме реконструкции костной ткани после травм, опухолей, остеопороза и других заболеваний. В настоящее время для решения этой задачи используются костные заменители, которые могут заменить поврежденную или отсутствующую костную ткань.

Одним из наиболее перспективных материалов для создания костных заменителей являются цементы на основе гидрофосфата кальция, сульфата кальция и биосовместимых полимеров, таких как поливиниловый спирт (ПВС), полиэтиленгликоль (ПЭГ) и поливинилпирролидон (ПВП). Гидрофосфат кальция обладает высокой биомовместимостью, а также хорошей растворимостью по сравнению с другими фосфатами кальция, что позволяет управлять скоростью высвобождения кальция и фосфора в организме [1]. Сульфат кальция в составе костного цемента быстро деградирует и выступает в роли закрепляющего компонента [2]. ПВС, ПЭГ и ПВП способствуют улучшению механических свойств цемента и ускорению процесса его затвердевания, а также отсутствие у данных полимеров токсичности минимизирует возникновение воспалительных реакций [3-5].

Целью данной работы является получение композиционных цементных материалов на основе гидрофосфата кальция, гипса и биосовместимых полимеров: поливинилового спирта, полиэтиленгликоля и поливинилпирролидона и исследование их физико-химических свойств.

Гидрофосфат кальция был получен путем смешивания растворов гидрофосфата аммония $(\text{NH}_3)_2\text{HPO}_4$ (0,3 М) и тетрагидрата нитрата кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,5 М) при комнатной температуре для получения элементного соотношения $\text{Ca}/\text{P} = 1/1$. Значение pH полученной смеси составило 7. Образец был подвержен СВЧ обработке, выдерживанию 48 часов, фильтрованию и сушке. Композиционные цементы были получены путем смешивания порошков гидрофосфата кальция CaHPO_4 с полугидратом сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ в соотношении 80/20 (масс. %), и последующим добавлением полимерных растворов (10 масс. %) в соотношении твердая/жидкая фаза 1/1.

Исследование компонентного состава проводили на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 6700 (Thermo Scientific) при разрешении 4 см^{-1} , с интервалом $400 - 4000 \text{ см}^{-1}$ в конфигурации НПВО. Исследование фазового состава и структурных параметров композиционных цементов проводилось на дифрактометре XRD-6000 (Shimadzu) на $\text{CuK}\alpha$ -излучении, выбранный диапазон углов отражения составил $2\theta = 3 - 100^\circ$, шаг 0.02° , скорость съема $3^\circ/\text{мин}$, напряжение съема 40 кВ. Исследование морфологии элементного состава поверхности проводили на сканирующем электронном микроскопе Quanta 200 3D при ускоряющем напряжении 10 кВ при увеличении в 1000 раз.

Исследование на растворимость проводили методом трилонометрии. Образцы выдерживали в 0,9%-ном физрастворе месяц при 36°C . Количество высвободившихся ионов кальция из образцов

каждые 7 дней определяли титрованием раствором трилона Б (0,01 М) с добавлением индикатора эриохромового чёрного Т в присутствии аммиачного буферного раствора с рН 10.

Методом рентгенофазового анализа установлено, что полученные композиционные материалы состоят из двух фаз – гидрофосфат кальция CaHPO_4 и дигидрат сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, полимеры находятся в аморфной фазе.

Исследование морфологии композиционных образцов показало, что полученные композиционные цементы имеют однородную структуру. Образец представляет собой смесь тонких игольчатых и плоских пластинчатых частиц, а средний размер практически не изменяется и варьируется от 14 до 15 мкм (рис.1).

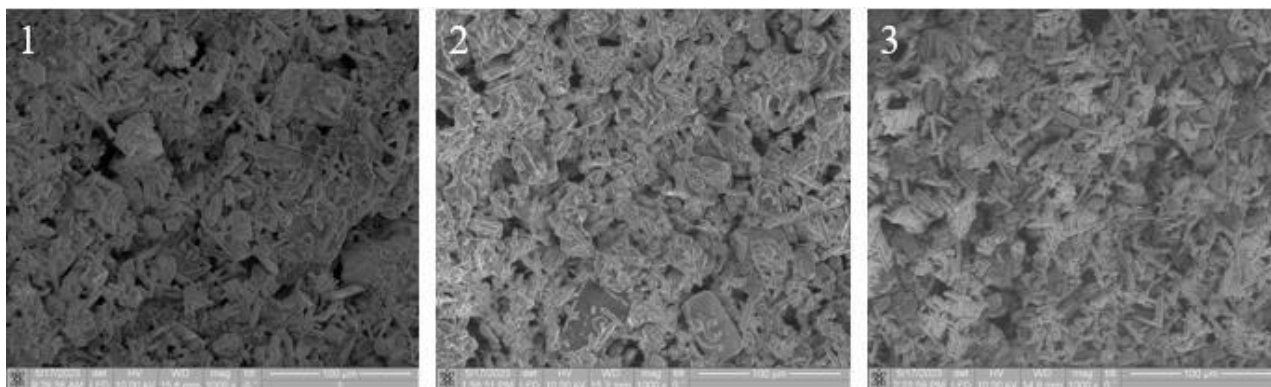


Рисунок 1 – СЭМ изображения поверхности образцов 1 – $\text{CaHPO}_4/\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{ПВС}$, 2 – $\text{CaHPO}_4/\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{ПЭГ}$, 3 – $\text{CaHPO}_4/\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{ПВП}$

Исследование растворимости композиционных материалов показало, что растворимость образцов возрастает со временем, чистый гидрофосфат кальция менее растворим среди остальных материалов и увеличение растворимости наблюдается в ряду:

$\text{CaHPO}_4/\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{ПВС} > \text{CaHPO}_4/\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{ПЭГ} > \text{CaHPO}_4/\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{ПВП} > \text{CaHPO}_4$.

Получены композиционные материалы на основе гидрофосфата кальция, дигидрата сульфата кальция и полимерных растворов ПВС, ПЭГ и ПВП. Методом рентгенофазового анализа установлено, что основными фазами композиционных материалов являются гидрофосфат кальция и дигидрат сульфата кальция. Исследование морфологии поверхности композиционных материалов показало наличие однородной структуры, средний размер частиц составил 14 – 15 мкм. Исследование растворимости композиционных материалов показало, что добавление гипса способствует закономерному увеличению высвобождения ионов кальция.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Sheikh-Mehdi Mesgar, A. Bioactive monetite-containing whisker-like fibers reinforced chitosan scaffolds [Text] / A. Sheikh-Mehdi Mesgar, Z. Mohammadi, F. Rasouli-Disfani // Journal of the American Ceramic Society. – 2017. – Vol. 100. No. 10. – P. 4719-4733.
2. Chen, W. L. Structure, properties and animal study of a calcium phosphate/calcium sulfate composite cement [Text] / W. L. Chen, C. C. Keng, J. L. Wei [et al.] // Materials Science and Engineering: C. – 2014. – Vol. 37. – P. 60-67.
3. Paknahad, A. Interfacial characterization of poly (vinyl alcohol) fibers embedded in a calcium phosphate cement matrix: An experimental and numerical investigation [Text] / A. Paknahad, D. G. Petre, S. C. G. Leeuwenburgh [et al.] // Acta biomaterialia. – 2019. – Vol. 96. – P. 582-593.
4. Michaela, R. Highly flexible and degradable dual setting systems based on PEG-hydrogels and brushite cement [Text] / R. Michaela, T. Jörg, G. Jürgen [et al.] // Acta biomaterialia. – 2018. – Vol. 79. – P. 182-201.
5. Teodorescu, M. Poly(vinylpyrrolidone) – A Versatile Polymer for Biomedical and Beyond Medical Applications [Text] / M. Teodorescu, M. Bercea // Polymer-Plastics Technology and Engineering. – 2015. – Vol. 54, No 9. – P. 923-943.

СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ ПОЛИЭТИЛЕН МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ТОКОФЕРОЛОМ АЦЕТАТОМ

Заровняева Р.Г., Сидорова Д.Н., Спиридонов А.М., Лазарева Н.Н., Охлопкова А.А.
СВФУ, Якутск, Россия

uxiciov@gmail.com

“ULTRAHIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE FOR MEDICAL USE WITH
TOCOPHEROL ACETATE”

Одним из лучших и перспективных биосовместимых материалов синтетического происхождения является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), подходящий для использования его в медицинских целях в эндопротезировании суставов.

В недавнее время было окончательно установлено, что окисление СВМПЭ приводит к увеличению его износа в имплантатах. На примере коленного импланта было показано, что окисление СВМПЭ способствует его расслоению. Более того, соединительная ткань вокруг окисленных компонентов содержит больше осколков и гигантских клеток, по сравнению с неокисленными. Данное свойство является возможным большим недостатком материала наряду с недостаточной износостойкостью. Ввиду этого повышение износостойкости и понижение окисляемости являются главными задачами при разработке композиционных материалов на основе СВМПЭ. Целью данного исследования является изучение влияния ацетата токоферола на физико-механические и триботехнические характеристики СВМПЭ медицинского назначения. [1-3]

В качестве полимерной матрицы был выбран СВМПЭ марки GUR 1050 (Celanese) с молекулярной массой $8,7 \cdot 10^6$ г/моль. Наполнителем являлся ацетат токоферола (Sigma Aldrich), состоящий из сложного эфира уксусной кислоты и альфа-токоферола.

Компоненты совмещали в жидкой среде этанола с использованием УЗ ванны SKYMEN JP-010T с максимальной мощностью 60 Вт/период и частотой колебания 40 кГц, с ротационным вакуумным испарителем Heidolph-VAP Precision (Heidolph). Полимерные композиционные материалы (ПКМ) были получены путем горячего прессования в гидравлическом вулканизационном прессе ПКМВ-100 при температуре 175°C, давлении 10 МПа.

Предел прочности при растяжении, относительное удлинение при разрыве определяли по ГОСТ 11262-80 (ASTM D 638M), модуль упругости при растяжении определяли согласно ГОСТ 9550, напряжение на сжатие определяли по ГОСТ 4651 на испытательной машине “Autograph AGS-J” (Shimadzu).

Таблица 1 – Напряжение при сжатии при установленной относительной деформации

Композит	$\sigma_{сд}$ 5%, МПа	$\sigma_{сд}$ 10%, МПа	$\sigma_{сд}$ 25%, МПа
СВМПЭ-1050	14,7±0,4	21,2±3,7	33,0±5,6
СВМПЭ + Ток.ац 0,01%	15,6±0,2	21,3±0,2	32,8±2,3
СВМПЭ + Ток.ац 0,05%	14,9±1,3	20,7±1,6	33,4±1,3
СВМПЭ + Ток.ац 0,1%	16,5±3,1	22,5±2,6	34,8±3,6
СВМПЭ + Ток.ац 0,3%	16,3±0,2	21,8±0,4	34,5±0,8

Примечание: $\sigma_{сд}$ – напряжение при сжатии при установленной относительной деформации (5 %, 10 % и 25 %).

Полученные результаты показывают увеличение напряжения при сжатии с увеличением концентрации наполнителя токоферола ацетата по сравнению с исходным полимером. Это обуславливается тем, что токоферол ацетат представляет собой вязкое масло, и его добавление приводит к умягчению ПКМ.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики СВМПЭ + наполнитель

Композит	$\varepsilon_p, \%$	$\sigma_p, \text{МПа}$	$E_p, \text{МПа}$
СВМПЭ-1050	401,0±66,0	38,0±6,0	637,0±35,0
СВМПЭ + Ток.ац 0,01%	408,1±33,3	42,1±2,5	226,3±60,3
СВМПЭ + Ток.ац 0,05%	400,8±39,2	42,3±3,9	400,8±31,15
СВМПЭ + Ток.ац 0,1%	412,9±28,0	43,8±3,4	476,8±63,8
СВМПЭ + Ток.ац 0,3%	389,5±23,5	41,1±4,7	554,3±54

Примечание: ε_{pp} – относительное удлинение при разрыве, %; σ_{pm} – прочность при растяжении, МПа; E_p – модуль упругости, МПа.

По данным исследования видно, что относительное удлинение при разрыве, прочность при растяжении и модуль упругости в основном повышается с увеличением концентрации по сравнению с исходным полимером.

Триботехнические характеристики ПКМ определяли на универсальном трибометре UMT-2 (CETR) по схеме трения «палец-диск» на основе ГОСТ 11629-75.

Таблица 3 – Триботехнические свойства СВМПЭ+наполнитель

композит	I, мг/ч	f
СВМПЭ-1050	0,28	0,3924
СВМПЭ + Ток.ац 0,01%	0,0567	0,4156
СВМПЭ + Ток.ац 0,05%	0,12	0,3898
СВМПЭ + Ток.ац 0,1%	0,0767	0,4156
СВМПЭ + Ток.ац 0,3%	0,1067	0,4109

Примечание: I – скорость массового изнашивания (мг/ч), f – коэффициент трения.

По данным триботехнического исследования видно, что значения намного улучшились по сравнению с исходным полимером. Исходя из результатов только триботехнических исследований, можно предположить, что концентрация 0,01% является оптимальной ввиду его меньшего значения массового изнашивания.

Существует перспектива создания материала с малым значением массового изнашивания, способный противостоять процессам окисления, которые возникают при длительной эксплуатации, за счет добавления в полимер антиоксидантов.

Работа выполнена в рамках проекта FSRG-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hongtao, L. Tribological properties of self-reinforced ultra-high molecular weight polyethylene composites [Text] / L. Hongtao, L. Yuhang, G. Jiping, Y. Honglin // Material Express. – 2015. – Vol. 5, No. 2. – P. 146-152.
2. Baena, J.C. Wear performance of UHMWPE and reinforced UHMWPE composites in arthroplasty application: a review [Text] / J.C. Baena, W. Jungping, P. Zhongxiao // Lubricants. – 2015. – Vol. 3. – P. 413-436.
3. Chen, X. Advanced fibrous composite materials for ballistic protection [Text] / X. Chen. – Woodhead Publishing, 2016. – 548 p.

СПОСОБ ПОВЕРХНОСТНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА

Коржова А.Г.¹, Лапуть О.А.¹, Зуза Д.А.², Курзина И.А.¹

¹НИИ ТГУ, Томск, Россия; ²ИСЭ СО РАН, Томск, Россия

korzhova17@gmail.com

“METHOD FOR SURFACE MODIFICATION OF MATERIALS FOR MEDICAL PURPOSE BASED ON POLYLACTIC ACID”

Актуальной задачей современной науки является разработка и исследование новых биоматериалов и улучшение физико-механических свойств и биосовместимости существующих. Перспективным соединением для изготовления изделий медицинского назначения является полилактид (ПЛ) — полимер, способный к разложению в организме без образования токсичных продуктов. Биосовместимость ПЛ и простота изготовления изделий на его основе позволяет рассматривать его в качестве шовных материалов для хирургии, систем доставки лекарств, композитов для устранения костных дефектов. Однако, отсутствие азот- и кислородсодержащих функциональных групп на поверхности и ее гидрофобность могут ограничивать прикрепление к ПЛ клеток или усложнять процесс присоединения лекарственного препарата для дальнейшей доставки. Для решения этой проблемы предлагается плазмохимическое модифицирование поверхности изделия, результатом которого станет прививание на поверхность азотсодержащих функциональных групп, способствующих взаимодействию с клеточными рецепторами или лекарственными молекулами. Целью данной работы является исследование влияния низкотемпературной плазмы аргона и воздуха с добавлением азотсодержащего прекурсора – диэтиламина (ДЭА), – на физико-химическое состояние поверхности и биосовместимость изделий из полилактида.

В качестве объекта исследования рассматриваются нетканые волокнистые материалы из полилактида, изготовленные по технологии электроспиннинга на установке Nanon-01 (MECC CO., Япония) в Научно-образовательном центре Б.П. Вейнберга, НИ ТПУ (Томск, Россия). Плазменное модифицирование поверхности образцов осуществляли в лаборатории вакуумной электроники ИСЭ СО РАН (Томск, Россия). В работе была использована низкотемпературная плазма тлеющего разряда, поддерживаемая в потоке аргона и воздуха. Для формирования на поверхности образцов азотсодержащих функциональных групп в поток плазмы подавали пары диэтиламина в двух концентрациях — 1 и 3,5 мас. %.

Исследование элементного состава и химического окружения атомов на поверхности полилактидных материалов было проведено методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) на приборе XPS NEXSA (Thermo Fisher Scientific Inc., США). Анализ спектров проводили с использованием ПО CasaXPS (Casa Software Ltd., Великобритания). Смачиваемость поверхности образцов до и после плазменного модифицирования оценивали посредством измерения краевого угла смачивания между каплей контактной жидкости (глицерин и вода) и поверхностью материала методом лежащей капли на установке EasyDrop (KRUSS, Германия) с использованием ПО DSA1 (KRUSS, Германия). Анализ жизнеспособности макрофагов в присутствии образцов осуществляли с использованием реагента alamarBlue (Thermo Fisher Scientific Inc., США).

На основании анализа результатов РФЭС с использованием характеристических коэффициентов относительной чувствительности было определено атомное содержание углерода, кислорода и азота на поверхности образцов. Для изучения химического окружения атомов на поверхности была проведена деконволюция спектров высокого разрешения C1s, O1s и N1s. Было показано, что описанный способ обработки поверхности образцов приводит к появлению на фотоэлектронных спектрах новой линии с энергией связи 399,9 эВ, что, согласно литературным данным, соответствует азоту [1]. Было обнаружено, что обработка полилактидных образцов плазмой, содержащей 1 мас. % ДЭА, позволяет получить концентрацию атомов азота на поверхности 11,5%, тогда как при использовании 3,5 мас. % ДЭА достигается концентрация атомов азота лишь 6,5%. На основании предположения об образовании новых связей между углеродом и азотом после плазменного модифицирования при анализе спектров высокого разрешения C1s для модифицированных материалов были введены две новые компоненты, соответствующие наиболее вероятным химическим окружениям атома углерода: углерод, связанный с аминогруппой (C–NH_x) и углерод амидной группы (N–C=O). Все образцы, подвергнутые модифицированию, показали увеличение доли компоненты, соответствующей химическому состоянию углерода H₃C–C, с 36,5% до 47,6-58,3% при одновременном снижении долей компонент O–C(CH₃)–C и C–C(=O)–O с 30,5% и 33,0% до 7,5-15,5% и 5,6-19,5%. Для материалов, обработанных плазмой состава Ar/воздух, отмечается наличие связей углерода с азотом в следующих

концентрациях: 6,6% связи C–NH_x и 12,2% связи N–C=O. Доля компоненты C–NH_x повышается при добавлении в плазму ДЭА и достигает максимального значения 21,5% при использовании 1 мас.% диэтиламина.

Образец полилактида до модифицирования представлял собой гидрофобный материал со значениями краевых углов смачивания водой 123,3° и глицерином 142,5°. В ходе работы было установлено, что плазменная обработка поверхности приводит к снижению значений краевых углов более чем в два раза при смачивании водой (до 56,3°) и глицерином (до 66,2°). На основании полученных значений краевых углов для исследуемых материалов была рассчитана свободная поверхностная энергия на границе твердое вещество – газ с использованием уравнения Оуэнса-Вендта-Рабел-Кьельбле [2]. Для образцов, обработанных плазмой состава Ar/воздух и плазмой состава Ar/воздух/ДЭА, отмечается увеличение значений поверхностной энергии с 15,8 мН/м (для необработанного материала) до 45,4 мН/м и 54,8 мН/м соответственно. Увеличение показателей поверхностной энергии для исследуемых образцов происходит преимущественно за счет роста полярной компоненты.

Оценку влияния материалов на жизнеспособность клеток проводили с использованием реагента alamarBlue на 6 день культивирования макрофагов пяти здоровых доноров в присутствии образцов (Табл.1). Анализ проводили в сравнении с клетками, культивируемыми на дне лунок культурального планшета без образцов. В присутствии немодифицированного ПЛ отмечается снижение доли живых клеток для двух доноров – на 25 и 50%, при этом для двух других доноров снижение незначительное, для одного составляет 13%. Культивирование макрофагов в присутствии материала, обработанного плазмой Ar/воздух, привело к снижению доли живых клеток на 14-17% для трех доноров, на 29% для одного донора, а также показало лучшие, по сравнению с контролем (на 17%), результаты для последнего донора. В случае ПЛ, обработанного плазмой с добавлением паров ДЭА, для двух доноров показатели жизнеспособности оказались выше контроля (на 7 и 11%), для двух других доноров снизились на 24-29%, для одного снизились на 7%. Таким образом показано, что обработка полилактидных волокнистых материалов плазмой с добавлением диэтиламина позволяет поддерживать жизнеспособность клеток на уровне положительного контроля или выше.

Таблица 1 – Анализ выживаемости макрофагов в присутствии полилактидных материалов

Образец	Жизнеспособность макрофагов, % от контроля				
	Донор 1	Донор 2	Донор 3	Донор 4	Донор 5
ПЛ	99,8±4,9	75,6±3,7	92,9±4,6	50,3±2,5	86,7±4,3
ПЛ+Ar/воздух	83,6±4,1	70,8±3,5	85,7±4,2	83,7±4,1	117,0±5,8
ПЛ+Ar/воздух/ДЭА	76,5±3,8	71,2±3,5	92,7±4,5	107,5±5,3	111,6±5,5

В данной работе было проведено исследование поверхностных свойств полилактидных волокнистых материалов после плазменного воздействия. Показано, что обработка плазмой состава Ar/воздух/ДЭА позволяет прививать на поверхность полилактидного изделия аминогруппы, необходимые для дальнейшего присоединения лекарственных средств или взаимодействия с клетками, а также придает поверхности гидрофильные свойства. Предварительная оценка цитотоксичности материалов показала сохранение уровня жизнеспособности клеток в присутствии модифицированных материалов на уровне, близком к контролю. Таким образом, предлагаемый способ модифицирования поверхности может успешно применяться для улучшения поверхностных свойств изделий на основе полилактида.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Beamson, G. High resolution monochromated X-ray photoelectron spectroscopy of organic polymers: A comparison between solid state data for organic polymers and gas phase data for small molecules [Text] / G. Beamson, D. Briggs // Molecular Physics. – 1992. – Vol. 76. – P. 919–936
2. Owens, D. K. Estimation of the surface free energy of polymers [Text] / D. K. Owens, R. C. Wendt // Journal of applied polymer science. – 1969. – Vol. 13. No. 8. – P. 1741–1747.

ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Коржова А.Г.¹, Брюзгина А.А.¹, Лапуть О.А.¹, Васенина И.В.², Зуза Д.А.³, Курзина И.А.¹

¹НИ ТГУ, Томск, Россия; ²ФИАН, Москва, Россия; ³ИСЭ СО РАН, Томск, Россия

kurzina99@mail.ru

“SURFACE MODIFICATION OF BIOCOMPATIBLE POLYMER MATERIALS”

Высокоэнергетические методы модифицирования полимерных изделий, среди которых особое место занимает плазменная обработка, в последние годы обращают на себя большое внимание исследователей. Воздействие энергетическими пучками на материал позволяет добиться изменения поверхностных свойств изделия, без изменения объемных характеристик. Происходящие в процессе обработки химические процессы напрямую влияют на элементный состав и химическое состояние атомов поверхности материала, что приводит, к изменению важных функциональных характеристик – смачиваемости, шероховатости и т.д. Это напрямую влияет на способность материала взаимодействовать с клетками и определяет клеточную жизнеспособность, метаболическую активность и адгезию. В медицине широкое применение находит такой биосовместимый и биodeградируемый полимер, как полилактид (ПЛ). В качестве полимерной основы ПЛ используется при изготовлении шовных материалов. Также ПЛ рассматривается для систем адресной доставки лекарств, ранозаживляющих повязок и как компонент композитов для заполнения костных дефектов. ПЛ позволяет получать изделия с хорошими физико-механическими показателями, однако гидрофобность и отсутствие специфических сайтов связывания с клетками в некоторых случаях могут приводить к воспалению в месте внедрения материала в организм. Плазменное модифицирование поверхности может позволить исследователям повысить биосовместимость ПЛ. Однако, различные виды плазменных разрядов могут оказывать разное воздействие на обрабатываемый материал. Отличия могут заключаться в биосовместимости, способности к разложению, способности взаимодействовать с клетками [1,2]. Таким образом, актуальной задачей является исследование влияния плазменных методов обработки поверхности полимеров на их биосовместимость. Цель данной работы заключается в проведении сравнительного исследования влияния поверхностной обработки плазмой барьерного и дугового разряда полилактидных материалов на жизнеспособность макрофагов, культивируемых в их присутствии.

Материалы на основе полилактида (PURASORB PL38, Corbion, Нидерланды), полученные методом электроспиннинга, в одном случае были обработаны низкотемпературной плазмой барьерного разряда в атмосфере аргона со следующими параметрами обработки: расход плазмообразующего газа 60 см³/с, длительность импульса 500 мкс, частота повторения импульсов 2 кГц, амплитуда импульса 7 кВ, мощность разряда 6 Вт, время экспозиции 120 с [3]. Во втором случае, поверхность образцов полилактида была подвергнута обработке низкотемпературной плазмой дугового разряда в атмосфере азота в течении 5 и 10 минут, при токе разряда 5 А, давлении 0,3 Па, мощности разряда 250 Вт [4]. Для оценки биосовместимости модифицированного полилактида в присутствии образцов культивировали первичные моноцитарные макрофаги, выделенные из лейкоцитомблосля здоровых доноров. Оценку жизнеспособности клеток проводили с использованием реагента alamarBlue (Invitrogen™, Thermo Fisher Scientific Inc., США). В таблице 1 приведены показатели жизнеспособности клеток относительно контроля (контроль – клетки, культивированные на пластике).

Таблица 1 – Оценка жизнеспособности первичных моноцитарных макрофагов в присутствии образцов полилактида до и после плазменного модифицирования

Образец	Жизнеспособность макрофагов относительно контроля, %		
	Донор 1	Донор 2	Донор 3
ПЛ (исходный)	68±3,4	69±3,5	67±3,3
ПЛ + плазма Ar (барьерный разряд)	84±4,2	74±3,7	58±2,9
ПЛ + плазма N ₂ (дуговой разряд), 5 минут	101±5,0	102±5,1	80±4,0
ПЛ + плазма N ₂ (дуговой разряд), 10 минут	85±4,2	83±4,1	60±3,0

Согласно полученным данным, жизнеспособность клеток в присутствии исходного ПЛ снижается на 30% по сравнению с контролем. В присутствии образцов, обработанных плазмой барьерного разряда жизнеспособность клеток также находится на уровне ниже контроля, но превышает значения для немодифицированного материала. В то же время, показано, что модифицирование ПЛ плазмой

дугового разряда в атмосфере азота в течение 5 минут в основном сохраняет показатели жизнеспособности макрофагов на уровне контроля.

Таким образом, предложен эффективный способ модифицирования поверхности полилактидных материалов, позволяющий улучшить биосовместимость данного полимера. Полученные результаты могут быть использованы при разработке изделий на основе полилактида, предполагающих контакт со внутренней средой организма человека.

Работа выполнена при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Durán, I. R. Atmospheric pressure cold plasma versus wet-chemical surface treatments for carboxyl functionalization of polylactic acid: A first step toward covalent immobilization of bioactive molecules [Text] / I. R. Durán, S. Vanslambrouck, P. Chevallier [et al.] // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – 2020. – Vol. 189.
2. Zarei, M. Improving physio-mechanical and biological properties of 3D-printed PLA scaffolds via in-situ argon cold plasma treatment [Text] / M. Zarei, S. S. Sayedain, A. Askarina [et al.] // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. No 1.
3. Laput, O.A. Low-Temperature Barrier Discharge Plasma Modification of Scaffolds Based on Polylactic Acid [Text] / O.A. Laput, I.V. Vasenina, Y.G. Shapovalova [et al.] // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2022. – Vol. 14. No 37. – P. 41742–41750.
4. Laput, O.A. Effect of Nitrogen Arc Discharge Plasma Treatment on Physicochemical Properties and Biocompatibility of PLA-Based Scaffolds [Text] / O.A. Laput, I.V. Vasenina, A.G. Korzhova [et al.] // Polymers. – 2023. – Vol. 15. No 16.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТРЕССОВЫХ ФАКТОРОВ НА АНТИОКСИДАНТНУЮ АКТИВНОСТЬ ТКАНЕЙ ПРОРОСТКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Софронеева Я.Н., Кузьмина С.С.

СВФУ, Якутск, Россия

sskuzmina@bk.ru

**“EVALUATION OF THE EFFECT OF STRESS FACTORS ON THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF
SEEDLING TISSUES IN THE EXPERIMENT”**

В природных условиях невозможно точно определить влияние одного фактора, такого как свет, влажность или температура. Для использования растений в качестве источников биологически активных веществ необходимо предсказывать, как условия окружающей среды влияют на их накопление. Экспериментально изменили температуру и увлажнение в лаборатории, чтобы изучить сдвиги антиоксидантных систем в проростках. Однако, даже в лабораторных условиях изменение нескольких параметров среды может усложнить определение основного фактора, способствующего накоплению биологически активных веществ в проростках. Вода играет ключевую роль в воздействии на живые системы и определяет их состояние в стрессовых условиях. Температура также считается важным фактором для выживаемости растений в их естественной среде. Реакция растений на температуру выражается в изменении интенсивности процессов окисления-восстановления, что может свидетельствовать о начальных стадиях холодного стресса. Исследованы воздействия указанных факторов на проростки.

Исследовались проростки ячменя сорта Тамми. Семена замачивали до наклеивания в водопроводной воде, после чего высаживали в чашки Петри. Проростки выращивали при температуре 23-24 °С и освещении лампами дневного света (12 ч) в вытяжном шкафу на растворе Кнопса. По достижении проростками ячменя возраста трое суток начинали эксперимент. Недостаток водообеспечения создавали 1,5-кратным уменьшением поливаемого раствора. За сутки к контрольным растениям добавляли по 30 мл р-ра Кнопса в расчете на 1 чашку Петри (в среднем 20 штук проростков ячменя), а к засухе – по 15 мл, к холоду – 20 мл. Влияние низких положительных температур было смоделировано ежесуточным помещением в течение ночи (12 ч) в холодильную камеру с температурой 4 °С [1].

Для определения содержания низкомолекулярных антиоксидантов (суммы флавоноидов, аскорбиновой кислоты (АК), суммы низкомолекулярных антиоксидантов (НМАО)), продуктов

перекисного окисления липидов (ПОЛ) ткани проростков растирали в ступке и экстрагировали 70% спиртов. Гомогенат центрифугировали 10 мин при 5000 об/мин. Биохимический анализ низкомолекулярных соединений и активности фермента пероксидазы в тканях проростков проводили стандартными спектрофотометрическими методами [2].

Наши результаты показали, что содержание НМАО повышается при температурном воздействии и при условиях недостаточного водообеспеченности в 1,6 и 2 раза соответственно по сравнению с контролем. Условия недостаточного водообеспечения вызывают сравнительно большее накопление АК 1,8 раз, чем холодовой стресс, по сравнению с контролем. При воздействии холода может происходить усиление выхода из клеток растворенных веществ в результате холодового повреждения вследствие активации ПОЛ мембран. У проростков ячменя уровень ПОЛ в условиях недостаточного водообеспечения и действия низких положительных температур в 1,6 раз и на 22,7 % повышается по сравнению с контролем соответственно. Известно, что реакция растений на температуру выражается в резком повышении интенсивности ПОЛ и замедленной его нормализации в последствии пониженных температур. Можно предположить, что усиление свободнорадикальной атаки на липиды является одним из ранних этапов инициации и развития холодового стресса. Но в нашем случае незначительное увеличение ПОЛ компенсируется параллельным увеличением (примерно в 1,5 раза) содержания как НМАО, так и пероксидазы. По нашим данным активность пероксидазы повысилась при температурном воздействии почти в 1,5 раза по сравнению с контролем, а в условиях недостаточного водообеспечения – на 46%. Таким образом, отрицательные эффекты активации ПОЛ на проростки растений при стрессовых условиях компенсируются параллельным увеличением содержания НМАО и активности пероксидазы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Демиденко, К.Я. Влияние минеральных веществ на морфологические показатели проростков сои [Текст] К.Я. / Демиденко, С.В. Хижняк // Вестник КрасГАУ. – 2017. – №. 4. – С. 30-37
2. Рогожин В.В. Методы биохимических исследований. Учебное пособие [Текст] / В.В. Рогожин. – Якутск, 1999. – 113 с.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ КРИОГЕЛИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ

Лыткина Д.Н., Садыков Р.Т., Шалыгина К.С., Курзина И.А.

НИ ТГУ, Томск, Россия

darya-lytkina@yandex.ru

“COMPOSITE CRYOGELS OF POLYVINYL ALCOHOL AND HYDROXYAPATITE FOR BONE TISSUE REGENERATION”

Гидрогели (ПВС) обладают необходимыми механическими свойствами, близкими к свойствам естественных тканей, однако их применение в качестве материалов для восстановления костей ограничено по причине биоинертности материала, препятствующей миграции и прикреплению клеток, что может привести к низкому уровню кальцификации и неплотному прикреплению имплантата к кости, что делает его менее пригодным для интеграции в костную ткань. Макропористая структура полимерной матрицы, обеспечивающая сходство материала с костной тканью: облегчающая процессы переноса, способствующая миграции и пролиферации клеток может быть сформирована при помощи криотропной обработки растворов ПВС. В состав криогеля ПВС могут быть введены биоактивные и биосовместимые компоненты, такие как фосфаты кальция и в частности гидроксиапатит. Взаимодействие компонентов такой системы оказывает влияние не только на биоактивность композиционного материала, но и на весь спектр физическо-химических и механических свойств.

Материалы были получены осаждением гидроксиапатита в растворе ПВС с последующей заморозкой-оттаиванием в интервалах температур +20 °С ... -20 °С.

Наиболее интенсивные рефлексы $2\theta = 31,7^\circ, 32,2^\circ, 32,9^\circ$ неразрешимы при применении излучения $\text{Cu K}\alpha$ и представлены одним пиком в интервале $30,62 \leq 2\theta \leq 31,9$. Наблюдается уменьшение степени кристалличности ГА с ростом температуры заморозки. Для полимерной фазы изменение степени кристалличности нелинейно и носит экстремальный характер, что является характерным для кристаллизации полимеров. Влияние полимерной матрицы выражается в сдвиге рефлексов кристаллической фазы антисимбатности изменения степени кристалличности полимерной и минеральной фазы. Размер кристаллитов ГА слабо зависит от режима криотропной обработки и

определяется, по-видимому, влиянием полимерной матрицы. Размер кристаллитов ПВС уменьшается при понижении температуры заморозки. Наблюдается увеличение параметров ячейки относительно гидроксипатита стехиометрического состава

ГА формируются в виде агломератов кристаллов, размерами 0,14 – 0,17 мкм. Размер частиц ГА уменьшается при повышении температуры заморозки, а их распределение становится более узким.

Степень набухания криогелей в фосфатном буфере изменяется нелинейно (с максимумами, приходящимися на первую и третью недели). Это может быть объяснено протеканием процессов старения геля, а также изменением концентрации ионов Ca²⁺. Сначала происходит набухание геля, сопровождающееся высвобождением кальция. К третьей неделе дегградация материала приводит к значительному изменению структуры, происходит старение гелей, сопровождающееся синерезисом [1-3].

Работа выполнена при поддержке грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК-2182.2022.1.3)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Роговина, Л.З. Природа студнеобразования, структура и свойства студней [Текст] / Л.З.Роговина, Л.С. Слонимский // Успехи химии. – 1974. – №. 44(6). – С. 1102-1135
2. Манжай, В.Н. Получение и исследование физико-химических свойств продуктов криотропного гелеобразования полимерных систем: учебно-методическое пособие [Текст] / В.Н. Манжай, Е.М. Березина, А.С. Смирнова. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2019. – 67 с.
3. Лозинский, В.И. Изучение криоструктурирования полимерных систем. Влияние скорости охлаждения водных растворов поливинилового спирта при х замораживании на физико-химические свойства и пористую структуру получаемых криогелей [Текст] / В.И. Лозинский // Коллоидный журнал. – 2012. – №. 3. – С. 343-352.

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНА В ТКАНЯХ *LARIX CAJANDERI* НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Местникова А.А.¹, Слепцов И.В.², Рожина С.М.²

¹ СВФУ, Якутск, Россия; ² ИБПК СО РАН, Якутск, Россия

manyawkaye@gmail.com

“DYNAMICS OF DIHYDROQUERCETIN ACCUMULATION IN *LARIX CAJANDERI* TISSUE IN THE TERRITORY OF CENTRAL YAKUTIA”

Флавоноиды представляют собой группу природных фитохимических соединений, для которых характерно высокая и разносторонняя активность и малая токсичность. Одним из широко известным представителем флавоноидов является дигидрокверцетин (ДКВ), который отличается широким спектром биологической активности. Известно, что ДКВ обладает антиоксидантными, противовоспалительными, капилляропротекторными, гепатопротекторным и др. свойствами (Тюкавкина и др., 1995; Бабкин и др., 2003). Цель исследования - изучить динамику накопления дигидрокверцетина в тканях *Larix cajanderi* для определения органов с максимальной концентрации исследуемого флавоноида для дальнейшей биотехнологической переработки сырья и получения биопрепаратов на их основе.

Для изучения сезонной динамики накопления метаболитов в различных органах *Larix cajanderi* в условиях криолитозоны сбор образцов проводили с участка, расположенного в 40 км северо-восточнее г. Якутск, близ научной станции «Спасская Падь» Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (62°15' сш, 129°37' вд). Высота над уровнем моря 220 м. Средняя высота древостоя 1,8 м, его плотность 840 деревьев га⁻¹. Средний возраст древостоя 30 лет.

Синтез и хранение вторичных метаболитов можно рассматривать как стратегию защиты и коммуникации растений. Известно, что флавоноиды в растениях играют важную роль в защите растений от насекомых и патогенов (Harborne, Mabry, 1980), защите от повреждений ультрафиолетовым светом (Graham, 1991) и термическом стрессе (Wollenweber, 1993). Кроме того, некоторые соединения флавоноидного ряда играют важную роль в антиоксидантно-прооксидантной системе, в том числе ДКВ (Wink, 2013, Takshak and Agrawal, 2015).

Изучена динамика накопления ДКВ в хвое, ветках, стволе, комле и придаточных корнях *L. cajanderi* в условиях криолитозоны (табл.1). Показано, что содержание ДКВ в хвое уменьшается с июня по сентябрь на 64÷68%. Наибольшее содержание ДКВ в хвое наблюдалось в июне, что может быть обусловлено защитными функциями флавоноидов от УФ-излучения, насекомых и патогенов на ранних стадиях развития вегетативных органов.

В ветках и камбии ствола *L. cajanderi* наблюдалось уменьшение содержания ДКВ на 54÷63% в течение вегетационного периода, что возможно обусловлено активной миграцией ДКВ по проводящей ткани в органы дерева. Концентрация ДКВ в камбии ствола повышалась в 1,9÷2,8 раза в осенний период, что может быть вызвано миграцией флавоноида перед опадом хвои, но также и защитными функциями при низкотемпературном стрессе. Как известно, что в результате низкотемпературного стресса повышается содержание активных форм кислорода и свободных радикалов (Aroca et al., 2001; Лукаткин, 2003; Попов и др., 2010), которые могут инактивироваться флавоноидами, такими как ДКВ. В древесине ствола содержание ДКВ сохранялось на одном уровне во всем исследованном периоде. Максимальное содержание ДКВ обнаружено в древесине комля, что скорее всего обусловлено защитными функциями флавоноидов, которые препятствуют проникновению в организм патогенных бактерий и грибов, содержащихся в почве. Следует отметить, что наблюдалось небольшое повышение концентрации ДКВ в древесине комля в течение исследованного периода, что может свидетельствовать о его накоплении и хранении в тканях *L. cajanderi*. Таким образом, показано что ДКВ способствует защите хвои на ранних стадиях вегетации от УФ-излучения, насекомых и патогенов. Накопление и хранение ДКВ наблюдалось в древесине комля, что также связано с защитными функциями.

Таблица 1 – Сезонная динамика накопления дигидрохверцетина в различных органах *Larix cajanderi* в условиях Центральной Якутии, мкг/г

Орган		Июнь	Июль	Сентябрь	Декабрь
		09.06.2021	13.07.2021	17.09.2021	01.12.2021
Хвоя		118±19 ^a	38±6 ^b	43±4 ^b	-
Ветки		1219±161 ^a	923±185 ^b	556±83 ^c	606±36 ^c
Верхняя часть ствола	Кора и камбий	230±21 ^a	137±16 ^b	86±12 ^c	238±48 ^d
	Древесина	27±5 ^a	26±3 ^a	24±2 ^a	21±3 ^a
Нижняя часть ствола	Кора и камбий	254±25 ^a	113±9 ^b	93±17 ^b	183±31 ^a
	Древесина	137±26 ^a	138±25 ^a	139±15 ^a	110±16 ^a
Комель	Кора и камбий	21±4 ^a	24±3 ^a	27±5 ^a	23±2 ^a
	Древесина	1227±135 ^a	1124±225 ^a	1371±188 ^a	1468±251 ^a
Придаточные корни		tr.	tr.	tr.	tr.

Примечание: Средние значения с одинаковыми буквенными надстрочными индексами внутри столбца статистически неразличимы при $p \leq 0,05$ по критерию Ньюмена-Кейлса, $n=5$

Исследована сезонная динамика накопления дигидрохверцетина (ДКВ) в тканях *Larix cajanderi*, произрастающей на территории Центральной Якутии. Показано, что максимальное содержание ДКВ наблюдается в древесине комля дерева перед переходом в состояние зимнего покоя, что обусловлено защитными функциями флавоноидов, которые препятствуют проникновению в организм патогенных бактерий и грибов, содержащихся в почве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин, В.А. Эффективный антиоксидант из древесины лиственницы [Текст] / В.А. Бабкин, Ю.А. Малков, Л.А. Остроухова [и др.] // Хвойные бореальной зоны. – 2003. – Т. 21, №. 1. – С. 108-113.
2. Лукаткин, А.С. Вклад окислительного стресса в развитие холодового повреждения в листьях теплолюбивых растений. Повреждение клеточных мембран при охлаждении теплолюбивых растений [Текст] / А.С. Лукаткин // Физиология растений. – 2003. – Т. 50. – С. 271-274.
3. Попов, В.Н. Перекисное окисление липидов при низкотемпературной адаптации листьев и корней теплолюбивых растений табака [Текст] / В.Н. Попов, О.В. Антипина, Т.И. Трунова // Физиология растений. – 2010. – Т. 57. – С. 153-157.

4. Тюкавкина, Н.А. / Н.А. Тюкавкина, А.П. Арзамазцев, Ю.А. Колесник / Научн. труды НИИ Фармациг Минздрава РФ. Т. XXXIV. – Москва, 1995. – С.77-81.
5. Harborne, J.B. The flavonoids: advances in research [Text] / J.B. Harborne, T.J. Mabry. – London: Chapman and Hall, 1980. – P. 155–167.
6. Aroca, R. Photosynthetic characteristics and protective mechanisms against oxidative stress during chilling and subsequent recovery in two maize varieties differing in chilling sensitivity [Text] / R. Aroca, J.J. Irigoyen, M. Sanchez-Diaz // Plant Science. - 2001. – Vol. 161. – P. 719-726.
7. Graham, T.L. Flavonoid and isoflavonoid distribution in developing soybean seedling tissues and in seed and root exudates [Text] / T.L. Graham // Plant physiology. – 1991. – Vol. 95, No. 2. – P. 594-603.
8. Takshak, S. Secondary metabolites and phenylpropanoid pathway enzymes as influenced under supplemental ultraviolet-B radiation in *Withania somnifera* Dunal, an indigenous medicinal plant [Text] / S. Takshak, S.B. Agrawal // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. – 2014. – Vol. 140. – P. 332-343.
9. Wollenweber, E. Flavones and flavonols [C]. In The flavonoids advances in research since 1986 [Text] / E. Wollenweber. – London: Chapman and Hall. – 1993. – P. 537–545.
10. Wink, M. Evolution of secondary metabolites in legumes (Fabaceae) [Text] / M. Wink // South African Journal of Botany. – 2013. – Vol. 89. – P. 164-175.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ

Михайлов В.В., Слепцов И.В., Рожина С.М.

ИБПК СО РАН, Якутск, Россия

nethrezim@mail.ru

**“THE RATIONAL USE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM *PINUS SYLVESTRIS*
NEEDLES IN THE CREATING OF BIOPREPARATIONS”**

Проведено исследование годовой динамики накопления метаболитов в хвое обыкновенной сосны (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на территории Центральной Якутии. Установлено, что в хвое сосны содержатся ценные биоактивные вещества, эффективные при профилактике и купировании нарушений обмена веществ, возникающих при сахарном диабете 2-го типа и при формировании других метаболических нарушений, связанных с гиперхолестеринемией, а также вещества криопротекторного действия. Известно, что пинитол обладает многофункциональными свойствами: включая антидиабетические [1], антиоксидантные [2], противовоспалительные [3] и противоопухолевые [4]. Исследования показали, что пинитол оказывает гипогликемический эффект у пациентов с сахарным диабетом II типа [5]. Инозитол и мио-инозитол, стереоизомеры пинитола, также оказывают инсулиноподобное действие и могут применяться в качестве эффективного препарата при терапии сахарного диабета II типа [6], а также в качестве препарата, снижающего уровни липидов и холестерина [7]. Галловая кислота способна подавлять эффекты окислительного стресса, связанного с диабетом II типа, и способствующего воспалению, общей гипергликемии и развитию инсулинрезистентности клеток организма [8].

Проблема криопротекции особенно остра в климатических условиях Якутии: при экстремально низких зимних температурах холодовые поражения у человека могут развиваться и приводить к тяжелым последствиям (серьезные ожоги, прижизненное оледенение тканей, некроз, инвалидизация, летальный исход) чрезвычайно быстро [9]. При этом, лечение холодовых ожогов — это весьма трудоемкая задача, которая не всегда завершается полным восстановлением пораженных тканей и органов, и предотвращение их образования представляется первостепенной задачей в условиях Крайнего Севера [10]. В продаже обычно предлагаются различные согревающие и теплоизолирующие эмульсии на основе жирных веществ, но было показано, что их действие ограничивается личным восприятием пользователя, и это приводит к ложному ощущению защищенности, повышающему действительный риск получения холодового ожога [11]. Изучается иной подход защиты человека (прежде всего, кожи, как органа, непосредственно и в первую очередь контактирующего с поражающим действием низких температур), основанный на использовании различных природных субстанций, полученных из организмов, демонстрирующих холодовую устойчивость. Так, трансгенные мыши, синтезирующие антифризный гликопротеин черноногого клеща (*Ixodes scapularis*), проявляют повышенную устойчивость к длительному воздействию низких температур [12]. Для экзополисахаридов, выделяемых арктическими морскими бактериями *Polaribacter sp.*

SM1127, были показаны высокий антиоксидантный и влагоудерживающий эффекты, чем были объяснены снижение тяжести холодового ожога и ускорение его заживления (снижение содержания активных форм кислорода, образующихся после холодового ожога) [13]. Следует отметить, что предполагаемый механизм криозащиты во всех случаях схож по своей природе и основан на том, что использованные вещества, во-первых, снижают температуру замерзания водного раствора, во-вторых, демонстрируют влагоудерживающие свойства, в-третьих, изменяют форму кристаллов образующегося льда - аналогичные эффекты производит комплекс крипротектантов в *P. sylvestris* (пинитол, инозитол, мелибиоза), что является многообещающим с точки зрения создания биопрепарата, предназначенного для профилактики и лечения холодовых ожогов.

Объектом исследования являлась хвоя *Pinus sylvestris* L., относящаяся к семейству *Pinaceae* Lindl. Хвоя отбиралась с деревьев высотой 2-4 метра на участках соснового леса на территории Центральной Якутии в окрестностях города Якутска ежемесячно в течение года в период с октября 2018 года по сентябрь 2019 (включительно). Проведенное нами исследование динамики содержания различных метаболитов в хвое *P. sylvestris* показало (табл. 1), что наибольшие содержания антиоксидантов, таких как галловая, шикимовая, аминomásляная кислота и другие, наблюдаются осенью, также в этот период возрастает содержание полиолов, аминокислот и углеводов, выполняющих в растении роль крипротекторов [14,15]. Накопление веществ, проявляющих крипротекторные свойства, в осенний период времени *P. sylvestris*, скорее всего, способствует устойчивости растения к низким температурам в зимний период. На основании полученных данных, выдвинуто предположение о том, что в целях создания биопрепаратов, нормализующих углеводный обмен, а также защищающих кожные покровы от действия низких температур рационально использовать в качестве сырья хвою *P. sylvestris*, отобранную осенью.

Таблица 1 – Содержание биологически активных метаболитов в хвое *Pinus sylvestris* (мг/г_{сух.в-ва}), на территории Центральной Якутии в течение календарного года

	октя брь	нояб рь	дека брь	янва рь	февр аль	март	апре ль	май	июн ь	июл ь	авгу ст	сент ябрь
Пинитол	37.6 ± 6.9	35.8 ± 2.8	37.7 ± 3.2	32.3 ± 2.6	34.5 ± 2.3	41.5 ± 1.7	35.0 ± 3.6	33.4 ± 2.5	20.2 ± 0.4	21.5 ± 0.3	28.2 ± 2.0	29.3 ± 2.4
Инозитол	0.27 ± 0.21	0.35 ± 0.04	0.34 ± 0.06	0.36 ± 0.05	0.30 ± 0.03	0.32 ± 0.01	0.22 ± 0.03	0.37 ± 0.05	0.41 ± 0.04	0.48 ± 0.02	0.48 ± 0.08	0.20 ± 0.13
Мио- инозитол	1.51 ± 0.33	1.37 ± 0.08	1.39 ± 0.23	1.32 ± 0.10	1.14 ± 0.10	1.40 ± 0.04	1.27 ± 0.20	1.70 ± 0.16	2.41 ± 0.28	2.87 ± 0.05	2.23 ± 0.24	1.71 ± 0.22
Шикимов ая кислота	30.0 ± 5.5	26.6 ± 2.1	24.5 ± 2.1	17.9 ± 1.4	19.5 ± 1.3	26.8 ± 1.1	19.5 ± 2.0	17.4 ± 1.3	12.5 ± 0.3	10.9 ± 0.1	13.4 ± 0.9	12.1 ± 1.0
Галловая кислота	0.12 ± 0.10	0.13 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.10 ± 0.00	0.07 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.00	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.05

Примечание: За 1 мг приведенных веществ принят 1 мг TMS-производных данных веществ, с учётом стандартизации по углеводороду C₂₃

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России по проекту «Физиолого-биохимические механизмы адаптации растений, животных, человека к условиям Арктики/Субарктики и разработка биопрепаратов на основе природного северного сырья, повышающих эффективность адаптационного процесса и уровень здоровья человека в экстремальных условиях среды» (тема № 0297-2021-0025, ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А21-121012190035-9), НИР «Разработка и внедрение в практическое здравоохранение биогенных методов повышения уровня здоровья и адаптивного потенциала организма человека, его умственной и физической работоспособности в экстремальных условиях природной и социальной среды путем создания биопрепаратов из тканей северных экоформ растений и аборигенных видов животных. 2 этап» (Государственный контракт № 535) и с применением оборудования ЦКП ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» (грант № 13.ЦКП.21.0016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gao, Y. Effects of D-pinitol on insulin resistance through the PI3K/Akt signaling pathway in Type 2

- diabetes mellitus rats [Text] / Y. Gao // J. Agric. Food Chem. – 2015. – Vol. 63, No. 26. – P. 6019-6026.
2. Lee, E. Pinitol consumption improves liver health status by reducing oxidative stress and fatty acid accumulation in subjects with non-alcoholic fatty liver disease: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial [Text] / E. Lee // The Journal of Nutritional Biochemistry. – 2019. – Vol. 68. – P. 33-41.
 3. Zheng, K. Protective effect of pinitol against inflammatory mediators of rheumatoid arthritis via inhibition of protein tyrosine phosphatase non-receptor Type 22 (PTPN22) [Text] / K. Zheng // Med. Sci. Monit. – 2017. – Vol. 23. – P. 1923-1932.
 4. Lin, T.-H. D-pinitol inhibits prostate cancer metastasis through inhibition of $\alpha V\beta 3$ integrin by modulating FAK, c-Src and NF- κB pathways [Text] / T.-H. Lin // IJMS. – 2013. – Vol. 14, No.5. – P. 9790-9802.
 5. Kim, J.-I. Effects of pinitol isolated from soybeans on glycaemic control and cardiovascular risk factors in Korean patients with type II diabetes mellitus: a randomized controlled study [Text] / J.-I. Kim // Eur. J. Clin. Nutr. – 2005. – Vol. 59, No. 3. – P. 456-458.
 6. Pintaudi, B. The effectiveness of myo-inositol and D-chiro-inositol treatment in Type 2 diabetes [Text] / B. Pintaudi, G. Di Vieste, M. Bonomo // International Journal of Endocrinology. – 2016. – P. 1-5.
 7. Jariwalla, R.J. Inositol hexaphosphate (IP6) as an anti-neoplastic and lipid-lowering agent [Text] / R.J. Jariwalla // Anticancer Res. – 1999. – Vol. 19, No. 5A. – P. 3699-3702.
 8. Xu, Y. Gallic Acid and Diabetes Mellitus: Its association with oxidative stress [Text] / Y. Xu // Molecules. – 2021. – Vol. 26, No. 23. – P. 7115.
 9. Алексеев, Р.З. Предупреждение развития некроза при отморожениях с оледенением тканей [Текст] / Р.З. Алексеев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – Т. 8, № 1. – С. 35-41.
 10. Gupta, A. Frostbite – manifestation and mitigation [Text] / A. Gupta, R. Soni, M. Ganguli // Burns Open. – 2021. – Vol. 5, No. 3. – P. 96–103.
 11. Lehmuskallio, E. Emollients in the prevention of frostbite [Text] / E. Lehmuskallio // International Journal of Circumpolar Health. – 2000. – Vol. 59, No. 2. – P. 122-130.
 12. Heisig, M. Frostbite Protection in mice expressing an antifreeze glycoprotein [Text] / M. Heisig // PLoS ONE. – 2015. – Vol. 10, No. 2. – P. e0116562.
 13. Sun, M.-L. Promotion of wound healing and prevention of frostbite injury in rat skin by exopolysaccharide from the arctic marine bacterium *Polaribacter sp.* SM1127 [Text] / M.-L. Sun // Marine Drugs. – 2020. – Vol. 8, No. 1. – P. 48.
 14. Orthen, B. Cyclitols as cryoprotectants for spinach and chickpea thylakoids [Text] / B. Orthen, M. Popp // Environmental and Experimental Botany. – 2000. – Vol. 44, No. 2. – P. 125–132.
 15. Fischer, C. Food reserves of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) [Text] / C. Fischer, W. Höll // Trees. – 1991. – Vol 5, No.4. – P. 187–195.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИВНЕЙ МАМОНТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СОРТНОСТИ

Павлова В.В., Петухова Е.С., Соловьев Т.М., Исакова Т.А., Ботвин Г.В., Чириков А.А., Петров В.В.

*ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия
pavvaleriya-55@mail.ru*

“STUDY OF THE STRUCTURE AND PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF
MAMMOTH TUSKS DEPENDING ON THEIR GRADE”

Бивень мамонта (БМ) является сырьем биогенного происхождения, характеризуется чрезвычайно высокой чувствительностью к воздействию факторов окружающей среды. Перепады температур, воздействие солнечного излучения, ветров, а также микробиологическое заражение приводят к достаточно быстрой деградации костного сырья, снижая его сортность вплоть до состояния, непригодного для обработки.

По существующим нормативным документам различают 4 сорта бивня мамонта [1]. При отнесении добытых бивней к тому или иному классу сортности, прежде всего, обращается внимание на сохранность и целостность его внешнего вида, где главными критериями оценки выступают наличие трещин и поврежденных участков.

Для проведения соответствующих исследований были приобретены образцы БМ различных сортов. Все исследуемые БМ после приобретения были обернуты пищевой пленкой и хранились в

морозильной камере при -15°C . Применялись следующие структурные методы исследования: ИК-спектроскопия, рентгенофазовый и термогравиметрический анализы.

Рентгенофазовый анализ показал, что основным компонентом их минеральной составляющей является – гидроксипатит и в зависимости от сортности бивней состав минеральной части существенно не меняется. Однако, в образцах БМ III и IV сортов кроме гидроксипатита были обнаружены следы минерала ньюбериита. По литературным данным [2,3], данный минерал может образовываться в бивне в условиях кислой среды ($\text{pH} < 6,2$) и при высокой влажности в результате диссоциации ионов гидрофосфата и магния.

Термогравиметрический анализ бивней показал, что процесс их термохимической деструкции практически не зависит от сортности. Об этом свидетельствует характер полученных кривых, а также значения массовых потерь. Однако, стоит отметить, что в интервале $25-200^{\circ}\text{C}$ у образцов БМ III и IV сортов характер изменения массы имеет два экстремума в отличие от образцов БМ I и II сортов.

Для исследования физико-механических свойств БМ образцы были разделены на 3 группы: контрольные, высушенные (при температуре 60°C), влагонасыщенные.

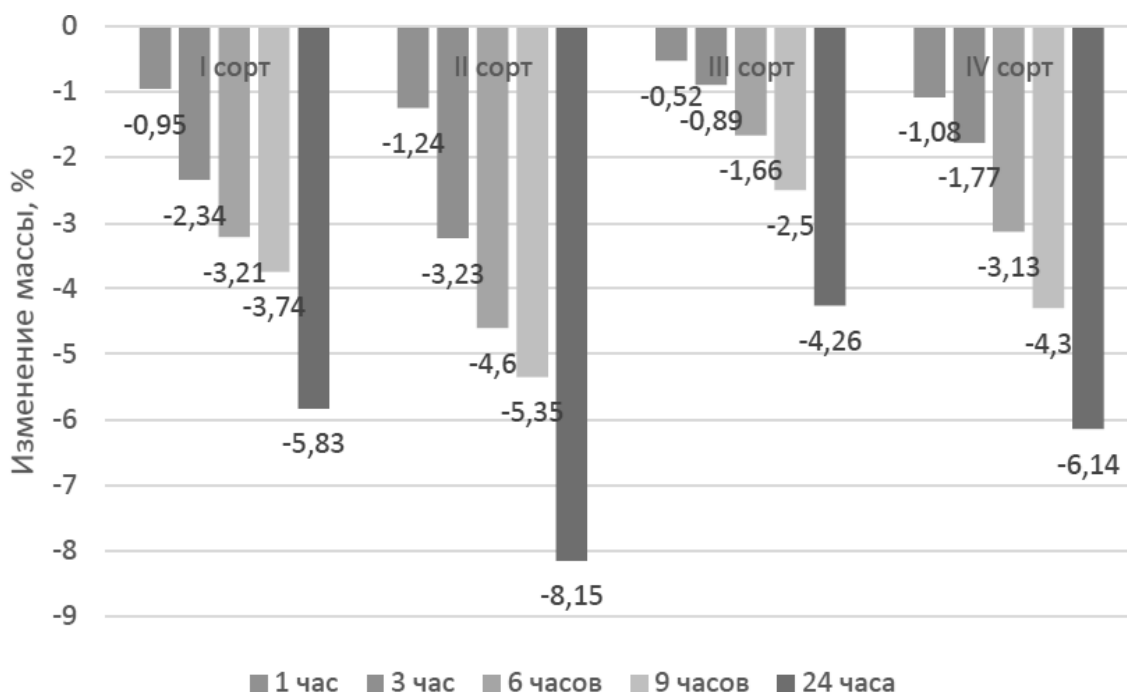


Рисунок 1 – Изменение массы образцов, высушенных в печи при 60°C

На рис. 1 представлен график изменения массы высушенных образцов. Показано, что наибольшая потеря массы зафиксирована у образцов II сорта ($-8,15\%$), наименьшая у образцов III сорта ($-4,26\%$). Потеря массы связана, прежде всего, с удалением адсорбированной на поверхности и в капиллярах образцов влаги.

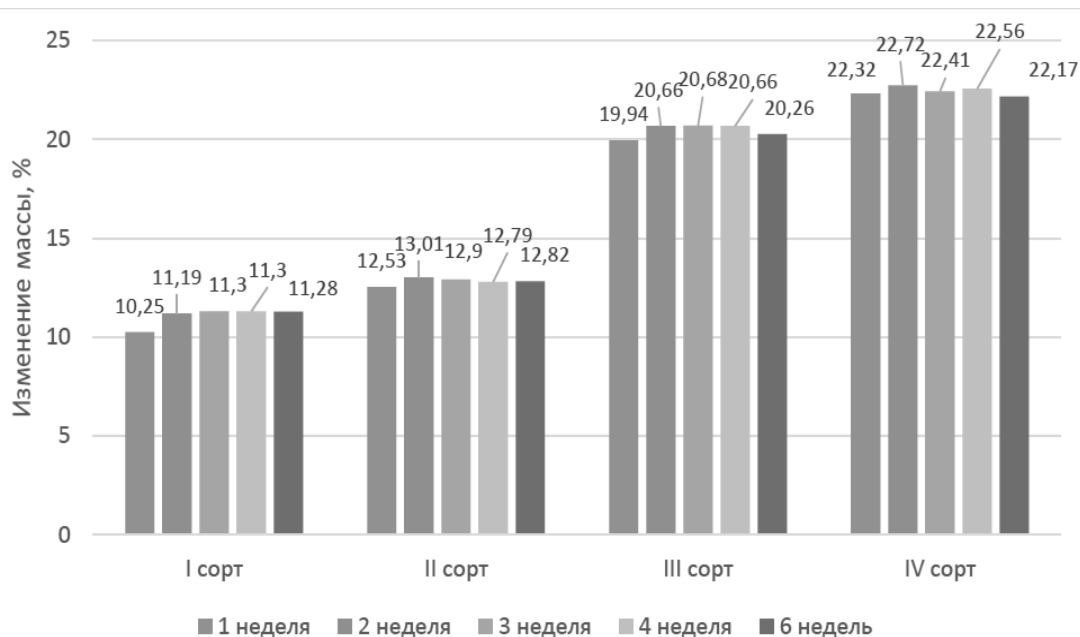


Рисунок 2 – Изменение массы образцов, хранившихся в воды

На рис. 2 показаны изменения массы образцов, хранившихся в воде. Как видно, максимальное водонасыщение у всех видов образцов достигнуто спустя 2 недели после начала испытания. Наблюдается определенная зависимость между показателем максимального водонасыщения и сортностью БМ: чем ниже сорт БМ, тем больше воды он может впитать в себя. Так наибольшим приростом массы характеризуются образцы III и IV сортов, а наименьшим образцы I и II сортов.

Таким образом, исследование структуры и физико-механических свойств БМ в зависимости от сортности позволили сделать следующие основные выводы:

- отличительной особенностью в минеральном составе БМ III и IV сортов от БМ I и II сортов является наличие в виде примесей, помимо ГАП, других фосфатных минералов, состав которых в большей степени зависит от условий окружающей среды, в которой залегают БМ. При этом минерализация может происходить не только в корковой части БМ, но и в его дентине;
- динамика потери влаги у высших и низших сортов БМ отличается: у БМ III и IV сортов потеря влаги в ходе сушки при 60°C происходит более линейно, чем у БМ I и II сортов. Скорость уменьшения массы у БМ I и II сортов после 3 ч сушки снижается;
- БМ низкого сорта характеризуются более высокой степенью максимального влагонасыщения, чем БМ высокого сорта. Возможно, это обусловлено тем, что БМ более низкого сорта из-за последствий начала естественного разложения органической части обладают более пористой структурой и имеют многочисленные микротрещины, что увеличивает общий объем внутренней полости, способной поглотить большее количество влаги из окружающей среды.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (НИОКТР № 122042000008-5). Физико-механические испытания были проведены на базе ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант №13.ЦКП.21.0016)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Об утверждении Концепции развития сбора, изучения, использования, переработки и реализации палеонтологических материалов мамонтовой фауны на территории Республики Саха (Якутия). Распоряжение Главы РС(Я) №649-РГ от 113.08.2018/
2. Freund, A. On the Occurrence of Magnesium Phosphates on Ivory [Text] / A. Freund, G. Eggert, H. Kutzke // Studies in Conservarion – 2002. – Vol. 47. – P. 155-160.
3. Shen, M.Z. Vivianite and its oxidation products in mammoth ivory and their implications to the burial process [Text] / M.Z. Shen, Z. Lu., Y. Xu [et al.] // ACS Omega. – 2021. – Vol. 6, No 34. – P. 22284-22291.

**БИОЗАРАЖЕНИЕ КОСТНЫХ ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ ПРИ
ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ И СПОСОБЫ ПРОФИЛАКТИКИ**
**Петухова Е.С.¹, Ерофеевская Л.А.², Исакова Т.А.¹, Павлова В.В.¹, Соловьев Т.М.¹, Ботвин Г.В.¹,
Чириков А.А.¹, Петров В.В.¹**

¹ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия; ²ИПНГ СО РАН, Якутск, Россия

evgspar@rambler.ru

**“BIOCONTAMINATION OF BONE PALEONTOLOGICAL REMAINS DURING LONG-TERM
STORAGE AND METHODS OF PREVENTION”**

При сохранении ценных музейных экспонатов биогенного происхождения немаловажным является вопрос их защиты от микробиологического заражения [1]. Бивень мамонта (БМ), является многокомпонентным материалом, состоящим из коллагена, гидроксиапатита и воды. При микробиологическом поражении бактерии и грибки используют органическую составляющую бивня для размножения и роста биомассы. Проникая в поры и микротрещины, микроорганизмы способствуют интенсификации процессов деградации костных тканей, вызывают их растрескивание и снижают качество дорогостоящего косторезного сырья. Известно, что микроорганизмы в течение десятков тысяч лет могут находиться в тканях палеонтологического объекта, захороненного в толщах вечномёрзлых пород, в состоянии анабиоза, возобновляя свою жизнедеятельность после попадания в благоприятные для их размножения условия [2]. Безусловно, микробиологическое заражение протекает также в результате контаминации с объектами окружающей среды, включая воздух, почву, антропогенное воздействие и пр.

В данной работе представлены результаты исследования особенностей микробиологического заражения БМ, хранение которых осуществлялось в различных условиях и предложены способы профилактики биозаражения. На рис. 1 представлен пейзаж микроорганизмов, выделенных из смывов с поверхности образцов, вырезанных из срединной части БМ, экспонированных в течение 6 месяцев в следующих условиях: в отапливаемом помещении, в неотапливаемом помещении, в холодильной камере (минус 10°C), на полигоне климатических испытаний «Якутск» и на полигоне после оборачивания в пленку.

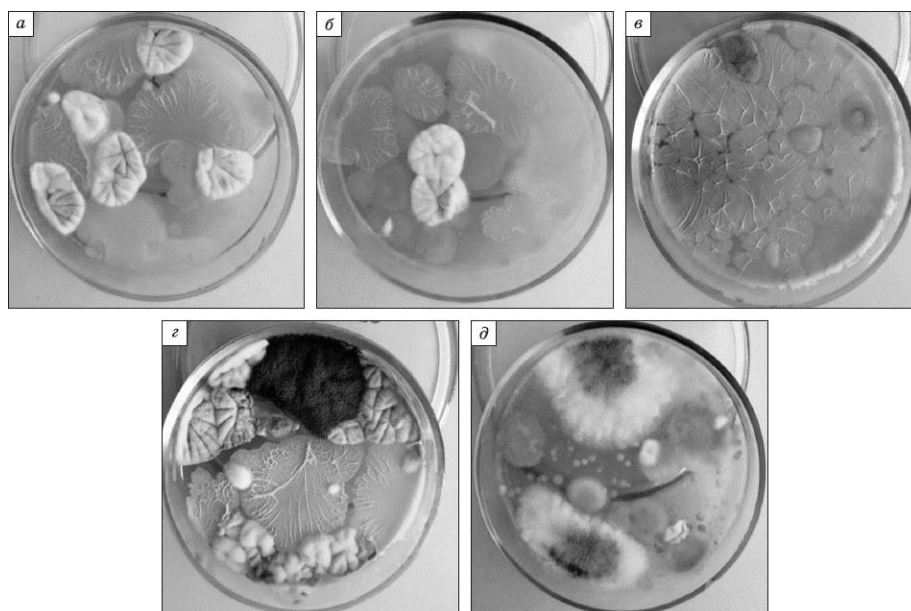


Рисунок 1 – Формирование колоний плесневых грибов родов *Acremonium* (а, б), *Aspergillus* (в–д), *Penicillium* (г) и бактерий рода *Bacillus* (рис. а–д), выделенных из смывов с поверхности образцов бивня мамонта, экспонированных: а – при комнатной температуре; б – при температуре –10 °С; в – в условиях неотапливаемого помещения; г – в пленке, на открытом воздухе; д – на открытом воздухе

По культурально-морфологическим и физико-биохимическим признакам из смывов были выделены плесневые грибы, принадлежащие к родам *Aspergillus*, *Mucor*, *Acremonium*, *Penicillium* и бактерии рода *Bacillus*. Наибольший рост биомассы микроорганизмов и видовое разнообразие выявлены для образцов

экспонирование которых осуществлялось на открытом воздухе в пленке, что обусловлено эффектом парника – под пленкой формировались условия с повышенной температурой и конденсировалась влага, что создало благоприятные условия для интенсивного размножения микроорганизмов.

Для защиты БМ от микробиологического заражения был предложен ряд способов. Первый подход заключался в механической изоляции образцов от взаимодействия с окружающей средой – окрашивание эмалью и оборачивание в более плотную пластиковую пленку. Второй подход предполагал использование специального гидрофобно-биоцидного состава (ГБС). При третьем подходе использовалось сочетание первых двух подходов в сочетании – обработка ГБС и оборачивание в пленку. Экспонирование в данном случае осуществлялось в течение 6 месяцев в условиях отапливаемого и неотапливаемого помещений и морозильной камеры.

В смывах с поверхности образцов после экспонирования выявлено наличие только бактерий р. *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. atropheus*), что обусловлено их способностью образовывать споры, имеющие эффективную защиту от биоцидных составов. Наименьшая общая численность микроорганизмов выявлена для образцов, обработанных ГБС и обернутых в пленку независимо от условий экспонирования. Несколько менее эффективным способом оказалось окрашивание.

На ГБС подана заявка на патент. Предложенный способ отличается простотой в исполнении и доступностью ингредиентов. Результаты исследования найдут применение в музейной деятельности, при экспертизе и лицензировании материалов. Выявленные микроорганизмы будут использованы в качестве тест-агентов для изучения механизмов разрушения костных тканей при микробиологическом поражении, для исследования продуктов их жизнедеятельности, оказывающих негативное воздействие на свойства БМ, как это показано в работах [3-6], что позволит разработать новые, более эффективные составы для профилактики биозаражения БМ.

Источник финансирования: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ НИОКТР № 122042000008-5. Выражаем благодарность ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант №13.ЦКП.21.0016) за возможность проведения исследований на научном оборудовании Центра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Петушкова, Ю.А. Роль микробиологии в сохранении памятников истории и культуры в музеях Москвы и Московской области [Текст] / Ю.А. Петушкова, Ю.П. Петушкова // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2016. – Т.12, №4. – С. 72-81.
2. Тарабукина, Н.П. Роль бактерий рода *Bacillus* в сохранении останков мамонтовой фауны в многолетних мерзлых грунтах [Текст] / Н.П. Тарабукина, М.П. Неустроев, М.П. Скрыбина [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 6. – С. 21-23.
3. Albéric, M. Early diagenesis of elephant tusk in marine environment [Text] / M. Albéric, A. Gourrier, K. Müller [et al.] // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2014. – Vol. 416. – P. 120-132.
4. Child, A.M. Towards an understanding of the microbial decomposition of archaeological bone in the burial environment [Text] / A.M. Child // Journal of Archaeological Science. – 1995. – Vol. 22. – P. 165-174.
5. Doménech-Carbó, M.T. Analytical study of waterlogged ivory from the Bajo de la campana site (Murcia, Spain) [Text] / M.T. Doménech-Carbó, M. Buendía-Ortuño, T. Pasiés-Oviedo // Microchemical Journal. – 2016. – Vol. 126. – P. 381-405.
6. Jackes, M., Destruction of the microstructure in archaeological bone: a case study from Portugal [Text] / M. Jackes, R. Sherburne, D. Lubell [et al.] // International Journal of Osteoarchaeology. – 2001. – Vol. 11, No. 6. – P. 387-399.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА МОДИФИЦИРОВАННОГО ФОСФАТАМИ КАЛЬЦИЯ

Садыков Р. Т., Лыткина Д.Н., Курзина И.А.

НИ ТГУ, Томск, Россия

nate_river_2017@mail.ru

“COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF POLYVINYL ALCOHOL HYDROGELS MODIFIED WITH CALCIUM PHOSPHATES”

В настоящее время не существует биоматериала синтетического или природного происхождения, который сам по себе мог бы удовлетворить требования каркаса, подходящего для тканевой инженерии;

однако композитные материалы представляют собой многообещающий класс инженерных биоматериалов для регенерации тканей. Композиты представляют собой многофазные системы, состоящие из матрицы и арматуры различных форм и размеров [1]. Эти фазы могут быть различными по химическому составу, но сохраняют свои исходные черты и оказывают положительное синергетическое влияние на характеристики композита. Композиционные материалы обладают свойствами, превосходящими свойства исходных компонентов, и могут быть разделены на несколько групп в зависимости от способа синтеза, а также характеристик матрицы и армирования [2].

Органические/неорганические композиты являются важными биоактивными каркасами для тканевой инженерии костей или хрящей, где полимер действует как матрица для однородно диспергированных неорганических включений [3]. С другой стороны, высокое соотношение неорганический наполнитель/ полимер приводит к получению прочного композитного материала [4]. Учитывая, что полимеры в основном являются гидрофобными материалами и не обладают способностью образовывать химические связи с живыми тканями, введение неорганического наполнителя – биоактивной биокерамики – придает им смачиваемость и биоактивность, что приводит к лучшей адгезии клеток к каркасу и костеподобному образованию ГА на границе ткани/имплантата [5]. Для получения композиционных материалов с повышенными механическими свойствами необходимо хорошо диспергировать мелкие частицы наполнителя в полимерной матрице [6].

Образцы композитов были получены в трех химических стаканах путем растворения в воде навески поливинилового спирта при интенсивном перемешивании с помощью погружной мешалки, а также на водяной бане при 90°C, после полного растворения и образование геля, к раствору ПВС был добавлен раствор гидроксида кальция после чего суспензия перемешивалась в течении двух часов до однородной структуры. После двух часов перемешивания в суспензию поливинилового спирта и гидроксида кальция были добавлены, с помощью капельной воронки, для равномерного распределения раствора, растворы гидрофосфата аммония и фосфорной кислоты. После чего данные смеси перешивались в течении 4/4/6 часов, при pH ~ 7 и температуре 90°C. Полученные суспензии были обработаны СВЧ излучением, выдерживались 48 часов, после чего подвергались криообработке. Схема получения композитов представлены в таблице 1.

Фазовый состав и структурные параметры исследовали на дифрактометре XRD-6000 на CuK α -излучении.

Таблица 1 – Условия получения композиционных материалов 1-3

Образец	Уравнение реакции	Время, ч
1	$10\text{Ca}(\text{OH})_2 + 6(\text{NH}_4)\text{HPO}_4 = \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)(\text{OH})_2 \downarrow + 6\text{H}_2\text{O} + 12\text{NH}_4\text{OH}$	4
2	$10\text{Ca}(\text{OH})_2 + 6(\text{NH}_4)\text{HPO}_4 = \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)(\text{OH})_2 \downarrow + 6\text{H}_2\text{O} + 12\text{NH}_4\text{OH}$	4
3	$10\text{Ca}(\text{OH})_2 + 6\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Ca}_{10}(\text{PO})_6(\text{OH})_2 + 18\text{H}_2\text{O}$	6

По результатам рентгенофазового анализа было обнаружено, что во всех трех композитах присутствует фаза гидроксиапатита, но в первом образце присутствует фаза непрореагировавшего гидроксида кальция, что свидетельствует о недостаточном времени проведения синтеза. Увеличение времени синтеза привело к появлению побочного продукта в виде однозамещенного метафосфата кальция $\text{CaPO}_3(\text{OH})$. В третьем образце, синтезированным с добавлением фосфорной кислоты, наблюдается только фаза гидроксиапатита.

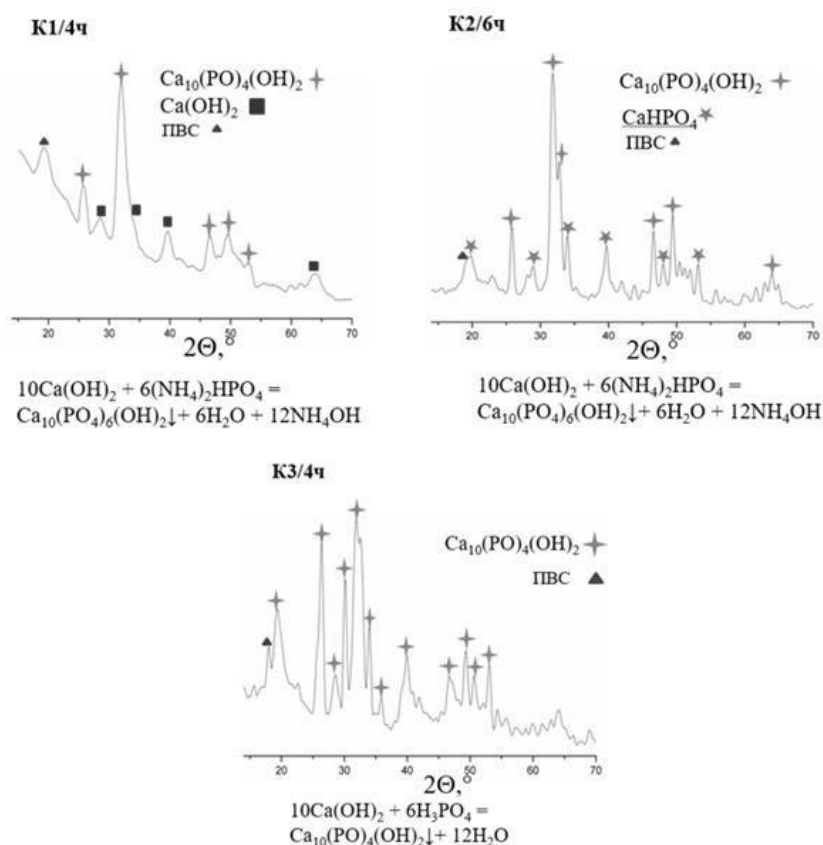


Рисунок 1 – Дифрактограммы образцов композитов А) К1, Б) К2, В) К3

В результате проведенных исследований установлено, что основной фазой минерального наполнителя всех образцов является гидроксиапатит. Для материалов, полученных с использованием гидрофосфата аммония, увеличение времени проведения реакции способствует тому, что исходные компоненты полностью реагируют, с образованием однозамещенного метафосфата кальция $\text{CaPO}_3(\text{OH})$. Использование фосфорной кислоты приводит к образованию монофазного продукта гидроксиапатита $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ при более коротком времени синтеза.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Sinha, A. Biomimetic patterning of polymer hydrogels with hydroxyapatite nanoparticles [Text] / A. Sinha, A. Guha // *Materials Science and Engineering* – 2009. – Vol. 29, No. 4. – P. 1330-1333.
2. Miguez-Pacheco, V. Biodegradable and bioactive polymer/inorganic phase nanocomposites for bone tissue engineering (BTE) [Text] / V. Miguez-Pacheco, S. K. Misra, A. R. Boccaccini // *Tissue Engineering Using Ceramics and Polymers*. – Woodhead Publishing, 2014. – P. 115-150.
3. Boccaccini, A.R. Degradable and bioactive synthetic composite scaffolds for bone tissue engineering [Text] / A.R. Boccaccini, X. Chatzistavrou, J.J. Blaker [et al.] // *Degradation of Implant Materials*. – 2012. – P. 111-137.
4. Makarov, C. Vancomycin release from bioresorbable calcium phosphate–polymer composites with high ceramic volume fractions / C. Makarov, I. Gotman, S. Radin [et al.] // *Journal of materials science*. – 2010. – Vol. 45, No. 23. – P. 6320-6324.
5. Raucci, M.G. Biomimetic strategies for bone repair and regeneration [Text] / M.G. Raucci, V. Guarino, L. Ambrosio // *Journal of functional biomaterials*. – 2012. – Vol. 3, No. 3. – P. 688- 705.
6. Başargan, T. In situ biomimetic synthesis to produce hydroxyapatite–polyvinyl alcohol biocomposites: precipitation and spray drying methods [Text] / T. Başargan, N. Erdöl-Aydin, G. Nasün-Saygılı // *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. – 2016. – Vol. 55, No. 5. – P. 447-452.

**СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ ПОЛИЭТИЛЕН МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ,
МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ДИОКСИДОМ ЦИРКОНИЯ**

Сергеева М.И., Сидорова Д.Н., Спиридонов А.М., Лазарева Н.Н., Охлопкова А.А.

СВФУ, Якутск, Россия

masha.03.023@gmail.com

“ULTRANHIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE FOR MEDICAL USE, MODIFIED WITH ZIRCONIUM DIOXIDE”

Большинство современных тотальных эндопротезов состоят из двух компонентов – нержавеющей металлического сплава или керамического компонента со сверхвысокомолекулярным полиэтиленом (СВМПЭ). Одной из самых популярных комбинаций биоматериалов, используемых для тяжело нагруженных подшипниковых применений в различного рода протезах, является сверхвысокомолекулярный полиэтилен с диоксидом циркония. Целью данного исследования является исследование влияния добавления диоксида циркония на физико-механические характеристики СВМПЭ медицинского назначения.

Объектами исследований в данной работе служили полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе СВМПЭ марки GUR 1050 (Celanese) с молекулярной массой $8,7 \cdot 10^6$ г/моль с добавлением наночастиц диоксида циркония с кристаллической структурой, представляющие собой белый порошок с размером частиц 12-18 нм [1-5].

Для совмещения компонентов использовали комбинацию УЗ ванны SKYMEN JP-010T с максимальной мощностью 60 Вт/период и частотой колебания 40 кГц, с ротационным вакуумным испарителем Heidolph-VAP Precision (Heidolph, Германия). В качестве проводника УЗ-колебаний использовали воду. ПКМ были получены путем горячего прессования в гидравлическом вулканизационном прессе ПКМВ-100 при температуре 175°C, давлении 10 МПа. Определение предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве проводили по ГОСТ 11262. Модуль упругости при растяжении определяли согласно ГОСТ 9550. Напряжение на сжатие определяли по ГОСТ 4651. Физико-механические испытания проводились на испытательной машине “Autograph AGS-J” (Shimadzu). Полученные данные физико-механических исследований приведены в табл. 1 и 2. Триботехнические характеристики СВМПЭ и ПКМ определяли на испытательной машине УМТ-3 (СЕТР, США) при удельной нагрузке 1,9 МПа и линейной скорости скольжения 0,5 м/с по схеме трения «палец–диск» в течение 3 ч.

Таблица 1 – Результаты физико-механических испытаний ПКМ на сжатие

Образец		Предел прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$, МПа			Модуль упругости, E, Н/мм ²
		при 5%	при 10%	при 25%	
СВМПЭ исходный		13,3	21,2	32,4	206,9
СВМПЭ + ZrO ₂	0,05 %	12,5	20,5	33,1	171,7
	0,1 %	13,7	21,5	34,1	213,9
	0,5 %	13,5	21,4	34,2	207,4
	1 %	13,4	19,5	32,1	201,5

Таблица 2 – Результаты физико-механических испытаний ПКМ при растяжении

Образец		Относительное удлинение при разрыве, ϵ , %	Модуль упругости, E, МПа	Предел прочности при растяжении, σ , МПа
СВМПЭ исходный		401,0	655,8	41,2
	0,05 %	369,2	450,2	38,4

СВМПЭ + ZrO ₂	0,1 %	423,1	466,9	42,6
	0,5 %	392,5	674,5	44,5
	1 %	431,7	500,0	45,8

В образце с процентным содержанием наполнителя 0,1 мас. % наблюдается увеличение параметра модуля упругости на 3,3%, в сравнение с исходным СВМПЭ.

Зарегистрировано увеличение относительного удлинения при разрыве. Показатель образца с концентрацией наполнителя 1 мас. % увеличился на 7,1%.

Таблица 3 – Триботехнические характеристики

Образец		Скорость мас. изнашивания, I, мг/ч	f
СВМПЭ исходный		0,28	0,3924
СВМПЭ + ZrO ₂	0,05 %	0,08	0,4087
	0,1 %	0,04	0,4248
	0,5 %	0,13	0,3924
	1 %	0,06	0,4075

Наиболее оптимальной износостойкостью обладает образец с концентрацией наполнителя 0,1 масс. %. Параметр скорости массового изнашивания уменьшился на 85,7%.

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен является одним из лучших и перспективных биосовместимых материалов синтетического происхождения, подходящий для использования его в медицинских целях в эндопротезировании. За счет наполнения его наномолекулярным наполнителем повышается износостойкость ПКМ.

Был выбран метод смешения СВМПЭ с наполнителем путем УЗ обработки, за счет лучшего внедрения наполнителя в матрицу и исключения образования агломератов.

Из результатов физико-механических и триботехнических исследований наблюдалось улучшение свойств ПКМ. На основе полученных данных образец с содержанием наполнителя с концентрацией 0,1 масс. % обладает наиболее оптимальными характеристиками. При данной концентрации модуль упругости увеличился на 3,3 % и коэффициент массового изнашивания на 7,6 %.

Работа выполнена в рамках проекта FSRG-2022-0009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Селютин, Г.Е. Композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена: свойства, перспективы использования [Текст] / Г.Е. Селютин // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – №18. – С. 378-388.
2. Михайлин, Ю.А. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен. Часть 1 [Текст] / Ю.А. Михайлин // Полимерные материалы. – 2003. – №3. – С.16-19.
3. Крыжановский, В.К. Производство изделий из полимерных материалов [Текст] / В.К. Крыжановский. – СПб.: Профессия, 2008. – 460 с.
4. Охлопкова, Т.А. Триботехнические материалы на основе СВМПЭ, модифицированного наноразмерными оксидами керамики [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.16.09. - Томск, 2018. - 160 с.
5. Распопов, Л.Н. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен. Синтез и свойства [Текст] / Л.Н. Распопов, Г.П. Белов // Пластические массы. – 2008. – №5. – С. 13-19.

**ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ
СВЕРХВЫСОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ,
МОДИФИЦИРОВАННОГО α -ТОКОФЕРОЛОМ**

Слепцов Н.А., Спиридонов А.М.

СВФУ, Якутск, Россия

sleptsov n a@mail.ru

“POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON ULTRA-HIGH MOLECULAR WEIGHT
MEDICAL POLYETHYLENE MODIFIED WITH α -TOCOPHEROL”

В протезировании в составе антифрикционных полимерных материалов все чаще используется сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), обладающий высокой прочностью и низким коэффициентом трения [1]. Применение чистого СВМПЭ в протезировании ограничивается его высоким износом и явлением окисления материала, что приводит к расслоению материала и повреждению соединительных тканей, соприкасающихся к протезу. Для устранения данных недостатков применяют различные виды добавок [2]. В СВМПЭ α -токоферол способен подавлять каскад окисления путем восстановления как алкильных, так и пероксидных радикалов [3]. Однако из-за относительной неподвижности обоих пероксидных радикалов и самого α -токоферола стабилизация после образования материала происходит главным образом за счет восстановления более подвижных алкильных радикалов [4, 3].

Изучение закономерностей влияния наполнителей, технологических факторов на процессы формирования композитов, их физико-механические и триботехнические характеристики ПКМ позволит управлять служебными свойствами материалов. Целью данного исследования является исследование влияния α -токоферола на свойства сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ).

В данной работе приведены результаты исследования влияния α -токоферола в качестве компонента полимерных систем на основе СВМПЭ марки GUR 1050 (Celanese) (ASTM, ISO 5834-1). Объектами исследования служили ПКМ с массовыми содержаниями α -токоферола 0,1%, 0,3%, 0,5%, 1% от общей массы.

Исследование физико-механических свойств образцов проводилось на испытательной машине Autograph AGS-J (Shimadzu, Япония). Относительное удлинение при разрыве и предел прочности при растяжении определяли согласно ГОСТ 11262-2017 при скорости движения захватов 50 мм/мин. Скорость изнашивания и коэффициент трения определяли на универсальном высокотемпературном трибометре SETR UMT-3 (США) по схеме трения "палец-диск" со стальным контртелом, аналогичным системе эндопротеза сустава, при нагрузке - 160 Н, скорости скольжения - 96 об/мин в течение 3 ч.

Результаты исследований физико-механических свойств исходного СВМПЭ и композитов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства исходного СВМПЭ и композитов

Свойства	Массовое содержание α -токоферола				
	0%	0,1%	0,3%	0,5%	1%
ϵ_{pp} , %	353,22±19,00	393,22±30,00	438,34±25,12	374,25±14,27	392,94±11,98
σ_{pm} , МПа	31±1	38,76±1,97	42,83±2,64	35,84±1,37	38,11±1,24

ϵ_{pp} , % - относительное удлинение при разрыве; σ_{pm} , МПа - прочность при разрыве.

Из приведенных результатов можно сделать вывод, что введение α -токоферола в СВМПЭ приводит к повышению физико-механических свойств, относительное удлинение при разрыве увеличивается до 130%, а прочность при разрыве на 12 МПа.

Результаты исследований триботехнических характеристик исходного СВМПЭ и композитов представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства исходного СВМПЭ и композитов

Характеристики	Массовое содержание α -токоферола				
	0%	0,1%	0,3%	0,5%	1%
I , мг/ч	0,76	0,06	0,18	0,01	0,08
f	0,34	0,40	0,40	0,35	0,46

I , мг/ч – скорость массового изнашивания; f – коэффициент трения.

Анализ результатов исследований триботехнических характеристик показывает, что введение α -токоферола в СВМПЭ приводит к существенному снижению скорости массового изнашивания материалов. Из таблицы 2 видно, что с повышением содержания наполнителя износостойкость композитов увеличивается в сравнении с исходным СВМПЭ. Наиболее эффективным оказалась ПКМ, содержащая 0,5% α -токоферола, так износостойкость повысилась в 76 раз по сравнению с исходным полимером. Вероятно, это обусловлено антиоксидантным действием α -токоферола, снижающим трибоокислительные процессы в полимерной матрице. Коэффициент трения остался на уровне, сходном не модифицированного СВМПЭ медицинского применения. На основании проведенных исследований установлено, что добавление α -токоферола в СВМПЭ приводит к значительному снижению триботехнических свойств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № FSRG-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kurtz, S.M. The UHMWPE Biomaterials Handbook: Ultra-High Molecular Weight Polyethylene in Total Joint Replacement and Medical Devices [Text] / S.M. Kurtz. – Burlington: Academic Press, 2009. – 530 p.
2. Ahmad, M. Thermal and mechanical properties of ultrahigh molecular weight polyethylene/high-density polyethylene/polyethylene glycol blends [Text] / M. Ahmad, M.U. Wahit, M.R.A. Kadir [et al.] // Journal of Polymer Engineering. – 2013. – V. 33, No. 7. – P. 599-614.
3. Bracco, P. Stabilisation of ultra-high molecular weight polyethylene with vitamin E. [Text] / P. Bracco, V. Brunella, M. Zanetti [et al.] // Polymer Degradation and Stability. - 2007. – Vol. 92. – P. 2155-2162.
4. Costa, L. Mechanisms of crosslinking, oxidative degradation and stabilization of UHMWPE [Text] / L. Costa, P. Bracco. UHMWPE Biomaterials Handbook second ed. Elsevier Science & Technology Books.

МУЛЬТИМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СКАФФОЛДЫ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ: ЧИСЛЕННОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ

**Ташкинов М.А., Еленская Н.В., Пирогова Ю.В., Шалимов А.С., Корягина П.О.,
Виндокуров И.В.**

ПНИПУ, Пермь, Россия

m.tashkinov@pstu.ru

**“MULTI-MORPHOLOGY SCAFFOLDS FOR BONE TISSUE REGENERATION: NUMERICAL AND
EXPERIMENTAL STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOUR”**

Одной из современных тенденций в биомедицине является переход к персонализированным решениям, наиболее соответствующим конкретным потребностям пациента. Благодаря последним разработкам в области технологий аддитивного производства (АП) возникла новая парадигма проектирования биомедицинских устройств. Свобода формы, которую дает АП, позволяет разрабатывать биосовместимые структуры, которые можно использовать для репликации, регенерации и поддержания функций тканей человека, а также для создания протезов, имплантатов, скаффолдов и других биомедицинских устройств. АП позволяет производить детали и конструкции не только определенной формы и заданной архитектуры, но и с уникальным сочетанием топологических (кривизна), механических, транспортных (проницаемость, теплопроводность) и биологических свойств. В связи с этим возникает необходимость разработки подходов к рациональному проектированию биомедицинских устройств, основанных на фундаментальных принципах физики и механики, экспериментальных и теоретических исследованиях, а также многомасштабных вычислительных моделях.

Увеличение средней продолжительности жизни привело к тому, что трансплантация костной ткани стала второй по распространенности операцией в мире после переливания крови. Несмотря на то, что костная ткань обладает уникальной способностью восстанавливаться и ремоделироваться без образования рубцов, существует ряд заболеваний, как врожденных, так и приобретенных, которые требуют хирургического вмешательства и замены костной ткани. В последние годы тканевая инженерия привлекла большое внимание исследователей к альтернативной стратегии лечения костных дефектов на основе скаффолдов. Скаффолды — это клеточные матрицы, которые используются в сочетании с биологическими носителями для ускорения процессов заживления и регенерации в кости.

Они имеют пористую структуру, позволяющую клеткам прикрепляться, пролиферировать и дифференцироваться.

Для успешного клинического применения материалы для скаффолдов тщательно отбираются: они должны быть биосовместимыми, биоактивными и обладать достаточной механической прочностью. Для эффективного функционирования скаффолды должны соответствовать определенным физическим, структурным и биологическим характеристикам [1]. Химия поверхности и топография скаффолда должны способствовать надлежащему связыванию клеток, а пористость открытого типа необходима для проникновения клеток, диффузии питательных веществ, удаления отходов жизнедеятельности и васкуляризации. Кроме того, механические свойства этих скаффолдов также должны быть совместимы с окружающими тканями или органами.

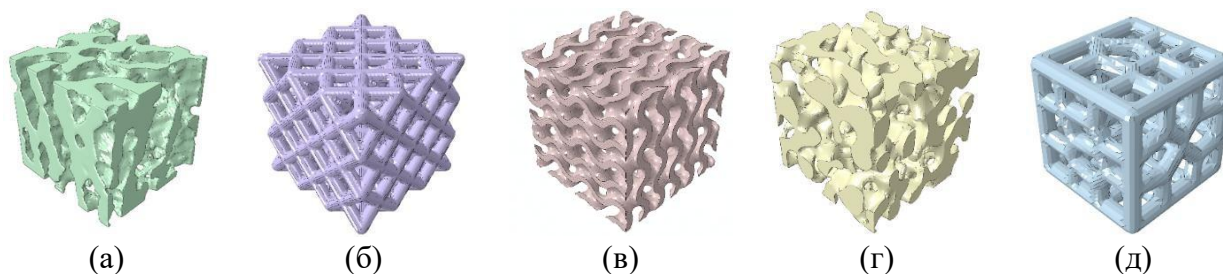


Рисунок 1 – Костная ткань (а) и прототипы скаффолдов для ее замещения (б, в, г, д), созданные на основе различных подходов

В данной работе представлены преимущества технологий АП для создания инженерных скаффолдов для регенерации костной ткани с оптимальными физическими, механическими и биологическими свойствами. Прототипы структур были изготовлены из полилактидной кислоты (ПЛА), биосовместимого материала, распространенного и доступного для аддитивного производства (АМ). Механическое поведение моделей было оценено с помощью численного моделирования. Получены результаты сравнительного анализа механического поведения полимерных решетчатых каркасов, спроектированных по различным подходам и изготовленных по технологии изготовления плавящихся нитей.

Для синтеза моделей скаффолдов были применены различные подходы. В частности, для моделей с периодической структурой использовались аналитические выражения, содержащие сумму произведений тригонометрических функций. Случайные структуры были основаны на алгоритме разделения фаз с использованием случайного Гаусса, а также на тесселяции Вороного с применением алгоритма релаксации Ллойда. Кубические модели были изготовлены с использованием набора простых геометрических форм (цилиндр и сфера).

Для регенерации костной ткани с изменяющейся пористостью предложены каркасы с контролируемой непрерывной градиентной структурой [2, 3]. Сочетание ячеек периодичности с разной морфологией и уровнем пористости позволяет имитировать переход между различными типами костной ткани (трабекулярной и кортикальной), обеспечивая тем самым замену поврежденного участка на границе тканей.

Деградация в биоразлагаемом полимере часто характеризуется молекулярными изменениями, возникающими в результате гидролитического расщепления, тогда как эрозия обозначает изменения, вызванные потерей массы разлагающихся полимерных цепей. Эрозия полимерных имплантатов обычно определяется двумя различными способами: поверхностным и объемным. Поверхностная эрозия возникает, когда твердый полимер теряет массу с поверхности конструкции, а затем разрушается по направлению к центру корпуса. И наоборот, объемная эрозия происходит, когда полимер теряет массу таким образом, что диффузия мономеров наружу происходит равномерным образом. Предложены две стратегии моделирования процессов дегградации скаффолдов - объемная и поверхностная дегградация. Выявлены фундаментальные различия в предложенных подходах и оценено влияние различных типов морфологии скаффолдов на изменение эффективных упругих свойств.

Для моделирования разрушения костной ткани и искусственных каркасов предложен новый подход, основанный на росте множественных трещин. Численные результаты механических моделей спроектированных конструкций сравниваются с исходными экспериментальными данными.

Экспериментальные исследования, проектирование функционально-градиентных скаффолдов,

моделирование процессов деградации выполнены в рамках гранта, выделяемого для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях и государственных научных центрах Российской Федерации, соглашение № 075-15-2021-578 от 31.05.2021 г. Результаты по моделированию процессов прогрессирующего разрушения костной ткани и скаффолдов получены при выполнении государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на выполнение фундаментальных научных исследований (проект FSNM-2023-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Shilov, S.Y. Biocompatibility of 3D-Printed PLA, PEEK and PETG: Adhesion of Bone Marrow and Peritoneal Lavage Cells [Text] / S.Y. Shilov, Y.A. Rozhkova, L.N. Markova [et al.] // Polymers. – 2022. – Vol. 14, No. 19. – P. 3958.
2. Elenskaya, N. Understanding of trabecular-cortical transition zone: Numerical and experimental assessment of multi-morphology scaffolds [Text] / N. Elenskaya, M. Tashkinov, I. Vindokurov [et al.] // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – 2023. – Vol. 147. – P. 106146.
3. Elenskaya, N.V. Numerical Modeling of the Deformation Behavior of Polymer Lattice Structures with a Density Gradient Based on Additive Technologies [Text] / N.V. Elenskaya, M.A. Tashkinov, V.V. Silberschmidt // Vestnik St. Petersburg University: Mathematics. – 2022. – Vol. 55, No. 4. – P. 443-452.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛА И ОЦЕНКА АДГЕЗИИ КЛЕТОЧНОЙ КУЛЬТУРЫ

Тимофеева Н.Ф., Николаева И.Э., Сокольников У.П., Самсонов А.Е., Дьяконова В.М.

СВФУ, Якутск, Россия

cokol.uruy@gmail.com

“STUDY OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PLA AND ASSESSMENT OF CELL CULTURE ADHESION”

Во всём мире стоит проблема с восстановлением утраченных кожных покровов, возникших из-за той или иной жизненной ситуации. К примеру, из-за ожогов страдает примерно 6 миллионов человек по всему миру, по статистике ежегодно происходит 180 тысяч случаев смерти, вызванные ожогами. Лечение ожоговых ран является очень дорогим и долгим процессом. Даже после таких испытаний не все остаются довольными результатами лечения [1].

Данное исследование будет идти на примере полилактида (ПЛА), так как он является биосовместимым, безопасным, биоразлагаемым, термопластичным, экологически чистым и доступным материалом [2, 3].

ПЛА применяют в качестве исходного материала для получаемого изделия. За счёт своей биоразлагаемости он широко применяется в медицине в качестве материала для создания хирургических нитей и штифтов, дермальных эквивалентов, является исходным полимером для печати в 3D-принтерах [4].

Цель работы: исследовать физико-механические свойства ПЛА и выявить оптимальную толщину пленки для использования в качестве матрикса дермального эквивалента, оценить адгезию клеточной культуры.

Объектом исследования выступает ПЛА марки 4043D NatureWorks (США). Агрегатное состояние – гранулы белого цвета, плотность – 1,238 г/см³, температура плавления 175-180°C.

Технология получения пленок была отработана на экструдере Vrabender (Германия). Предварительная подготовка ПЛА заключалась в просушивании в печи ПЭ-0041 при температуре T=80°C в течение 3 часов. Далее высушенный и охлажденный полилактид помещали в эксикатор до начала экструзии. В результате экструзии получены пленки толщиной 10, 100 и 200 мкм.

Для определения физико-механических свойств взяли по 6 образцов для каждой толщины. Испытания на растяжения проводились на испытательной машине «Shimadzu AGS-J» (Япония) при скорости 5 мм/мин. Образцы и результаты испытаний были выполнены согласно ГОСТ 14359-69 и ГОСТ 14236-81 [5-6].

Таблица 1 – Физико-механические характеристики пленок из ПЛА по ГОСТ 14236-81

Толщина пленок, мкм	Модуль упругости при растяжении E, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Прочность при разрыве, МПа
10	7150	111,8	93,8
100	3750,6	51,9	28,6
200	2629,7	66,6	20,7

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что наиболее высокими прочностными характеристиками обладает пленка толщиной 10 мкм. Модуль упругости пленки толщиной 10 мкм в 1,9 раз выше модуля упругости пленки толщиной 100 мкм, и в 2,7 раза выше, чем у пленки в 200 мкм. При этом прочность на растяжение и прочность на разрыв пленок 10 мкм так же значительно выше, чем у пленок 100 и 200 мкм. Повышение модуля упругости при растяжении от большей толщины к меньшему объясняется тем, что у пленок с толщиной 10 мкм более уплотненная структура, характеризующаяся упорядоченным расположением структурных образований.

Исследование на клеточных культурах проводили в лаборатории Клеточных технологий и регенеративной медицины Медицинского института СВФУ им. М.К. Аммосова. В качестве клеточной культуры использовались культивированные дермальные фибробласты (2-й пассаж) здорового человека с предварительно подписанным информированным согласием. Маленькие кусочки ткани в стерильных условиях были измельчены на кусочки от 1 до 2 мм и по 2-3 кусочка были помещены в чашки Петри. Культивирование клеток проводилось с использованием среды DMEM/F-12 (1:1) (1X), FBS 20%, anti-anti (1x100), пируват натрия (1x100). Клетки инкубировались при температуре 37°C в атмосфере, обогащенной 5% CO₂ в течение 5 дней.

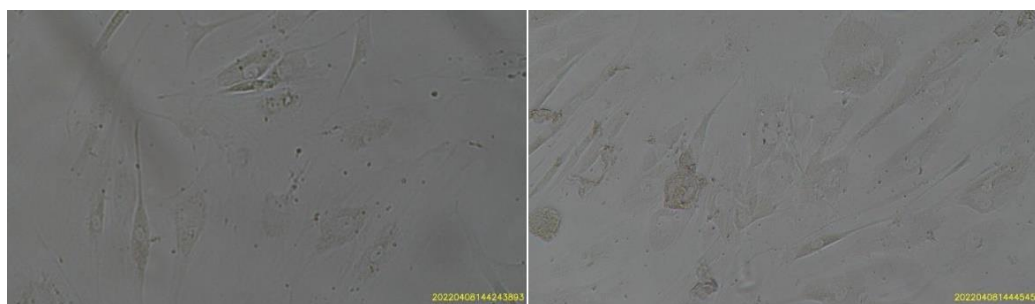


Рисунок 1 – Прикрепившиеся фибробласты к поверхности ПЛА 100 мкм

На рисунке видны прикрепившиеся, вытянутые фибробласты на пленках ПЛА толщиной 100 мкм. Фотографии сделаны с использованием инвертированного микроскопа (ЛОМО, Россия) с увеличением в 60 раз (окуляр x15, объектив x4). На пленках толщиной 100 мкм фибробласты прикрепилась на 2й день исследования, микрофотографии сделаны на 3й день культивирования клеточной культуры на поверхности полилактидных пленок. На пленках толщиной 10 мкм на 3й день не было зафиксировано фибробластов.

При исследовании физико-механических исследований выявлено, что наиболее оптимальными высокими прочностными характеристиками обладают пленки ПЛА толщиной 10 мкм, в несколько раз превосходящими прочностные характеристики пленок толщиной 100 и 200 мкм. На пленках толщиной 100 мкм были зафиксированы прикрепившиеся фибробласты, на пленках толщиной 10 мкм на 3й день культивирования клеток не обнаружено. Несмотря на высокие физико-механические показатели пленок толщиной 10 мкм, необходимо так же учитывать адгезию клеток, поэтому в дальнейшем будут исследованы пленки, толщина которых будет в диапазоне 10-100 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алейник, Д.Я. Современные проблемы науки и образования: Использование клеточных технологий для восстановления повреждений кожи при ожоговой травме [Текст] / Алейник Д.Я., Зорин В.Л., Еремин И.И. [и др.] – Нижний Новгород, 2015. – № 4.

2. Богданова, О.И. Экология и промышленность России: Полилактид биоразлагаемый биосовместимый полимер на основе растительного сырья [Текст] / Богданова О.И., Седуш Н.Г., Овчинникова Т.Н. [и др.]. – Москва, 2010. – С. 18–23.
3. Чудинова, М.А. Синтез высокомолекулярного полилактида [Текст] / М.А. Чудинова // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых посвященной 120-летию Томского политехнического университета. Томск, 17-20 мая 2016. – Томск: ТПУ, 2016 – Т. 1 – С. 575-576.
4. Николаева, Е.Д. Биополимеры для клеточной инженерии [Текст] / Е.Д. Николаева // Журнал Сибирского Федерального Университета. Биология. – 2014 – Т. 7, № 2 – С. 222-233.
5. ГОСТ 14236-81 Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. Введ. 1981 г. – Москва: Издательство стандартов, 1992.
6. ГОСТ 14359-69 Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования. Введ. 1970 г. – Москва: Издательство стандартов, 1993.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИЛАКТИДА НА ПРОЛИФЕРАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ФИБРОБЛАСТОВ

Тимофеева Н.Ф., Гольдерова А.С., Тобонова Т.И., Сокольников У.П.

СВФУ, Якутск, Россия

ninakswan@mail.ru

“EFFECT OF MODIFIED POLYLACTIDE ON THE PROLIFERATIVE ACTIVITY OF FIBROBLASTS”

Изучение биоразлагаемых полимеров для применения в медицине является актуальной темой исследования. Биоразлагаемые полимеры могут быть использованы в различных областях медицины, таких как хирургия, травматология, стоматология, косметология и др.

Одним из биосовместимых и биоразлагаемых полимеров является полилактид (ПЛА). К преимуществам полилактида можно отнести нетоксичность, отсутствие аллергического эффекта, а также использование различных методов переработки.

Объектами исследования являются ПЛА NatureWorks 4043D (США) и культивированные фибробласты (2-й пассаж), выделенные из соединительной ткани здорового человека с предварительно подписанным информированным согласием. Образцы получали путем продавливания вязкого расплава ПЛА через формующее отверстие головной части экструдера Plastograph EC Plus (Brabender GmbH&Co.KG, Германия). Изготовлены образцы пленок разной толщины – 10 и 100 мкм. Для каждой толщины образцов ПЛА клеточную суспензию распределяли по 12 лунок, далее в течение 5 дней культивировали клетки на поверхности образцов. Инфракрасные спектры образцов ПЛА до нахождения в культуральной среде с клеточной культурой и после снимали на ИК-спектрометре 7000 FTIR (Varian, США) с Фурье преобразованием методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) $500-4000\text{ см}^{-1}$. Микрофотографии образцов получали на инвертированном микроскопе ЛОМО (Россия).

Подсчет клеток по изображениям инвертированного микроскопа показал, что доля молодых фибробластов на дне лунки с полилактидной пленкой с толщиной 10 мкм 1,7 раз больше, чем лунок с толщиной 100 мкм. Следует отметить, что при толщине 100 мкм пролиферация клеток оказалось в 1,38 раз ниже, чем в контроле.

В результате полученных данных соотношения молодых и зрелых фибробластов, оцененных по морфологии хроматина ядер, было выявлено, что толщина пленок влияет на пролиферативную активность, что, в свою очередь, возможно связано с подавлением метаболических процессов за счет относительного дефицита пространства.

Инфракрасные спектры ПЛА до нахождения в культуральной среде с клеточной культурой и после (в течение 5 дней) не зафиксировали образования новых полос поглощения.

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОСТНЫХ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА И АЛЬГИНАТА НАТРИЯ

Титова С.Д., Биль В.А., Садыков Р.Т., Лыткина Д.Н.

НИ ТГУ, Томск, Россия

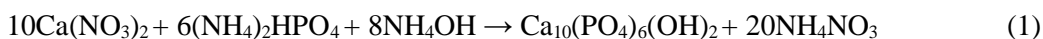
sofat0581@gmail.com

“OBTAINING MATERIALS FOR BONE TISSUE RESTORATION BASED ON HYDROXYAPATITE AND SODIUM ALGINATE”

В настоящее время проблема восстановления костных тканей является одной из наиболее актуальных в медицине [1]. Различные заболевания, травмы и операции могут привести к повреждению или потере костной ткани, что может существенно ухудшить качество жизни пациента. Восстановление костей может быть достигнуто путем использования имплантатов на основе композиционных материалов. Одним из вариантов материалов является соединение альгината натрия и гидроксиапатита. Альгинат натрия (АН) имеет отличные свойства для использования в медицине, так как он биосовместим, биоразлагаем и имеет низкую токсичность [1]. Гидроксиапатит (ГА) же является основным компонентом костной ткани и его добавление позволяет повысить механическую прочность материала и osteoconductive. Он уже успешно используется в медицине как компонент материалов для восстановления костей [2]. Поэтому исследования в области синтеза материала для восстановления костных тканей на основе альгината натрия и гидроксиапатита могут иметь большую актуальность в современном медицинском материаловедении.

Поэтому целью данного исследования является получение нового материала на основе альгината натрия и гидроксиапатита для восстановления костных тканей, исследовать состав композиционного материала.

Синтез образцов ГА проводили по следующей методике (1) [3]:



В стакане смешали растворы нитрата кальция (0,5 моль/л) и гидрофосфата аммония (0,3 моль/л). Добавили концентрированный раствор аммиака (25 %), чтобы регулировать уровень pH ~ 10-11. Смесь нагрели посредством микроволнового излучения мощностью 110 Вт и температуре ~100 °C до закипания. Образовавшийся осадок отстаивался в растворе в течение 48 часов. Осадок фильтровался и высушивался в сушильном шкафу при температуре 110 °C в течение примерно 20 часов. Затем помещался в муфельную печь при температуре 300 °C на 2 часа.

Были получены четыре образца композиционного материала, с разными массовыми соотношениям путем смешивания раствора альгината натрия (1%) и полученного гидроксиапатита (табл.1).

Таблица 1 – Состав композиционных материалов

Компонент	1	2	3	4
р-р АН, масс%	90	80	70	60
ГА, масс%	10	20	30	40

Морфология полученных композитов была исследована с помощью системы с электронным и сфокусированным ионным пучком Quanta 200 3D при напряжении 5 кВ.

Исследование фазового состава и структурных параметров образцов проводилось на дифрактометре XRD-6000 на CuK α -излучении. Анализ фазового состава проведен с использованием баз данных PDF 2.

Спектры нарушенного полного внутреннего отражения предоставленных на анализ образцов были зарегистрированы с помощью ИК-Фурье спектрометра Bruker Tensor 27 в диапазоне 370-6000 см $^{-1}$ (на приставке "Алмаз на КРС-5"), D=4 см-1, 128 накоплений.

Исследование морфологии поверхности показало, что средний размер частиц ГА является 29 микрометров и в композиционных материалах этот показатель остаётся прежним (рис. 1).

Исследование компонентного состава не показало образование новых связей или эффектов от изменения массового соотношения компонентов. Образцы представлены полосами характерными для валентных колебаний фосфатных групп в области 1054 см $^{-1}$, гидроксильных групп в области 3300-2500 см $^{-1}$, карбоксильных групп в области 1610-1330 см $^{-1}$, карбонильных групп в области 1600-

1560 cm^{-1} , метиленовых групп в области 2926 cm^{-1} и деформационных колебаний фосфатных групп в области 1000-500 cm^{-1} .

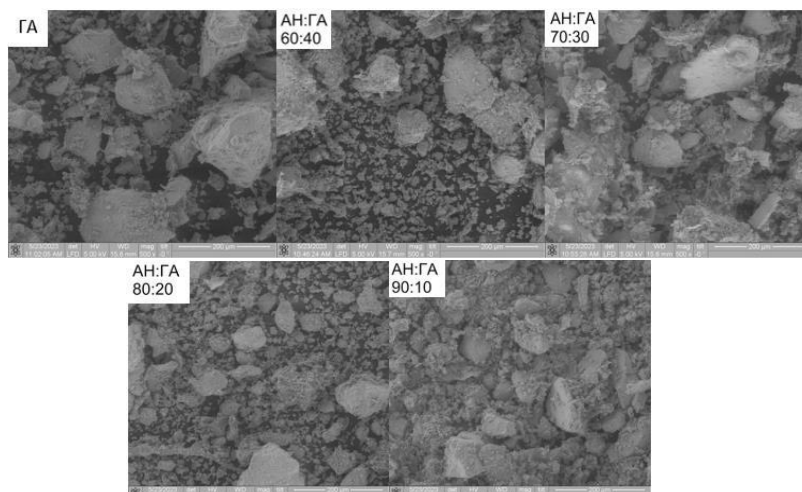


Рисунок 1 – СЭМ изображения поверхности чистого ГА и композитов АН:ГА: ГА, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10

РФА показало, что основной фазой является ГА, посторонних фаз не присутствует. Рефлексы альгината натрия не были зафиксированы, так как он представляет полностью аморфную фазу.

Получены композиционные материалы на основе 1%-ого раствора альгината натрия и гидроксиапатитом синтезированного из раствора нитрата кальция, гидрофосфата аммония и гидрата аммония. Методом ИК-спектроскопии, было установлено, что никаких новых связей или эффектов не возникает при изменении массового соотношения альгината натрия и гидроксиапатита в композиционном материале. Методом рентгенофазового анализа установлено, что основной фазой минерального наполнителя композиционного материала является гидроксиапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Исследование морфологии поверхности композиционных материалов на основе альгината натрия и гидроксиапатита показало, что средний размер частиц почти не изменился от чистого гидроксиапатита.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Черкасов, А.А. Получение и исследование свойств гидрогелей состава: поливиниловый спирт – альгинат натрия [Текст] / А.А. Черкасов, А.А. Чернышев, Д.Н. Лыткина [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2020. – №. 19. – С. 6–13.
2. Шашкина, Г.А. Гидроксиапатит биогенный - аналог минеральной части костной ткани [Текст] / Г.А. Шашкина, В.Ф. Сорев // Медицина экстремальных ситуаций. – 2017. – №1.
3. Рассказова, Л.А. Полученные *in situ* биоактивные композиты на основе фосфатов кальция и олигомеров молочной кислоты [Текст] / Л.А. Рассказова, Д.Н. Лыткина, Ш.Е. Шаповалова [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2015. – Т. 88, №. 4. – С. 639-645.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Тобонова Т.И., Тимофеева Н.Ф., Охлопкова А.А.

СВФУ, Якутск, Россия

tatiana.tobonova24@mail.ru

“RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITE MATERIAL FOR 3D PRINTING”

Биоразлагаемые полимерные композиционные материалы вызывают все больший интерес в области биомедицины. Одним из перспективных материалов для применения в данной области служит полилактид (ПЛА). Полилактид – биосовместимый, биоразлагаемый, термопластичный алифатический полимер, мономером которого является молочная кислота. Благодаря своим

уникальным свойствам как биосовместимость и биodeградируемость, полилактид является ведущим материалом для разработки конструкционных систем, штифтов медицинского назначения [1].

Объектами исследования являются полилактид марки 4043D «Nature Works» (США), агрегатное состояние - гранулы белого цвета, плотность – 1,238 г/см³ и гидроксипатит кальция Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ (Agomarti, Россия, Zhejiang Cathaya Light Products, Китай) – белый порошок, без запаха.

Технология переработки материала была отработана с помощью экструдера Plastograph EC Plus (Brabender, Германия). Предварительная подготовка состоялась в сушке ПЛА и ГАК в течение 3-х часов при температуре 80°C в печи ПЭ-0041 (Россия), с последующим перемешиванием в растворе хлороформа в соотношении ПЛА:ГАК 80 масс.:%:20 масс.:% и 90 масс.:%:10масс.:%. Из полученной массы экструдировали филаменты с диаметром 1,75 мм. Образцы для испытаний представляют собой лопатки из чистого экструдированного ПЛА, распечатанного ПЛА на 3D-принтере «AnyCubic Mega X» (AnyCubic, Китай) методом FDM с диаметрами печатающей нити 0,1 и 0,2 мм с заполнением 60%, 80%, 100%, а также образцы распечатанного композита на основе ПЛА и ГАК с 100% заполнением согласно ГОСТ 11262-2017, ГОСТ Р 57558 – 2017 [2,3].

Исследования физико-механических свойств образцов проводились на испытательной машине «Autograph» (Shimadzu, Япония), при комнатной температуре, скорость движения подвижных захватов - 5 мм/мин.

Термодинамические свойства испытали методом дифференциальной сканирующей калориметрии DSC 204 F1 Phoenix (NETZSCH, Германия) (погрешность не более +0,1%). Нагревание образцов на калориметрической ячейке ДСК производилась со скоростью 2°C в мин. Из экспериментальных кривых ДСК по эндотермическим пикам плавления определяли температуру плавления, энтальпию плавления и кристаллизации в процессе спекания и в процессе перекристаллизации ПКМ, также исследовали влияние термообработки ПЛА на свойства исходного материала.

Структурные свойства исследовали методом ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием на ИК-спектрометре 7000 FT-IR (Varian, США). Спектры получали с помощью приставки НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) в диапазоне 550-4000 см⁻¹.

Результаты физико-механических испытаний характеризовали пределом прочности при растяжении, относительным удлинением при разрыве, модулем упругости при растяжении, пределом прочности при 10%, 25% деформации и сжатии по ГОСТ 11262-80, ГОСТ 9550-81, ГОСТ 4651-82 [2,4,5].

Выяснено, что чистый филамент с диаметром 0,1 мм и 80% заполнением имеет оптимальные параметры для 3D-печати. Также при введении наполнителя ГАК, параметры предела прочности при 25% деформации и модуля упругости повышаются на 16 % и 33 % соответственно.

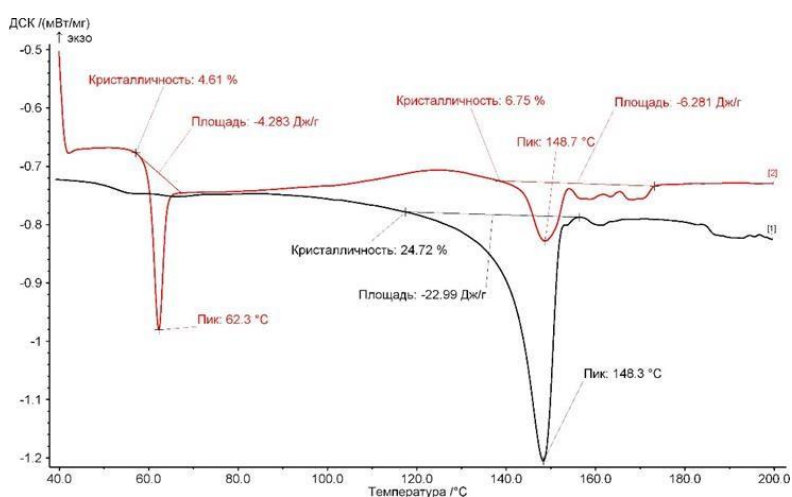


Рисунок 1 – Сравнительная термограмма ПЛА и ПЛА с ГАК

Исследование методом ДСК показало (рис.1), что исходный ПЛА имеет два эндотермических пика в диапазоне от 60-63°C, соответствующий температуре стеклования и от 144-153°C, который соответствует температуре плавления, к тому же, в диапазоне от 100- 140°C наблюдается экзотермический пик стеклования. Композиционный материал имеет один эндотермический пик плавления в интервале 148,3°C, также следует отметить, что степень кристалличности ПКМ повысилась до 24,72% [6].

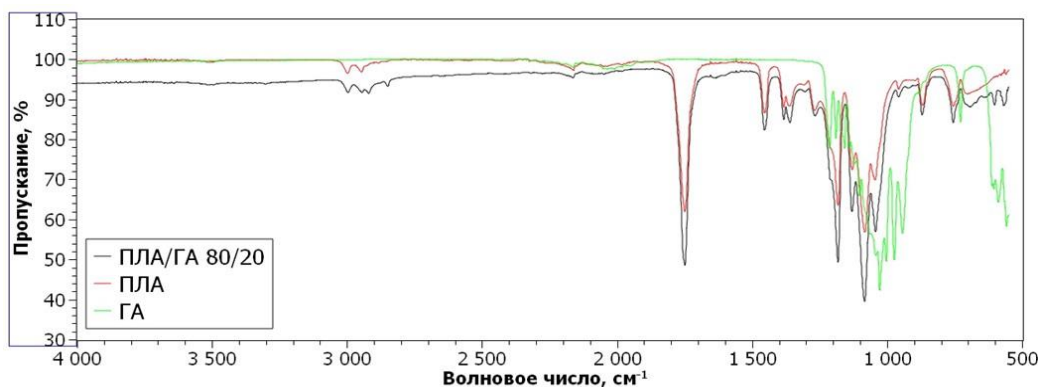


Рисунок 2 – ИК-спектры ПЛА с ГАК

На рис. 2 ИК-спектры исходного ПЛА фиксируют фрагменты, соответствующие модам полилактида. Также на ИК-спектрах композита ПЛА/ГАК видно, что при введении ГАК в ПЛА не образует новых пиков [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Lee, J. Fabrication of poly(lactic acid)/Ti composite scaffolds with enhanced mechanical properties and biocompatibility via fused filament fabrication (FFF) - based 3D printing [Text] / J. Lee, H. Lee, H. Cheon [et al.] // Addit. Manuf. – 2019. - Vol. 48, No. 30. – P. 755-762.
2. ГОСТ 11262-80-2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. Общие требования [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 2018 – 24 с.
3. ГОСТ Р 57558-2017. Аддитивные технологии. Базовые принципы [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 2017 – 16 с.
4. ГОСТ 9550-81. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1982 – 8 с.
5. ГОСТ 4651-82. Пластмассы. Метод испытания на сжатие. – М.: Издательство стандартов, 1983 – 8 с.
6. Емелина, А.Л. Дифференциально сканирующая калориметрия [Текст] / А.Л. Емелина. – М.: МГУ, 2009. – 42 с.
7. Тарасевич, Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы [Текст] / Б.Н. Тарасевич. – Москва: МГУ, 2012. – 54 с.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ АДГЕЗИВОВ ПОСТОЯННОЙ ЛИПКОСТИ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Чолбодукова Л.Н., Местникова Н.Н.

СВФУ, Якутск, Россия

lari.cholbodukova@gmail.com

“DEVELOPMENT OF A FORMULATION OF PERMANENT THICKNESS ADHESIVES FOR MEDICAL PURPOSE USING A COMPLETE FACTORIAL EXPERIMENT”

Разработка медицинских клеев является актуальной темой в медицине и фармакологии. Они могут быть использованы для закрытия ран и различных повреждений кожи и тканей, а также для фиксации медицинских инструментов и приспособлений. Клей сочетает в себе простоту применения, высокую скорость спайки, минимальную инвазивность процедуры и меньшее время, необходимое для заживления ран [1].

Адгезивы на основе натурального каучука обладают рядом преимуществ в сравнении с синтетическими аналогами, такими как:

1. Безопасность
2. Эффективность
3. Практичность
4. Экономическая целесообразность

В целом, разработка медицинских клеев из натурального каучука имеет большой потенциал для улучшения качества медицинской помощи и снижения рисков для пациентов.

Цель работы: Разработка рецептуры адгезива, обладающей постоянной липкостью и высокой адгезией, используя полный факторный эксперимент.

В качестве матрицеобразующего полимерного материала адгезива использовали натуральный каучук (НК) производства SVR – 3L (Государственный стандарт – ТCVN 3769: 1995) и полиизобутилен (PI-85) (ПИБ). Полиизобутилен способен совмещаться с НК с образованием взаимопроникающей стабильной смеси. Для изготовления адгезивов выбрано соотношение полиизобутилен / натуральный каучук – 20/80.

Канифоль (колофонская смола) - хрупкое, стекловидное, аморфное вещество, с характерным раковиннообразным изломом и стеклянным блеском от тёмно-красного до светло-жёлтого цвета. Пчелиный воск – это второй продукт отрасли пчеловодство. Пектин - это вещество растительного происхождения. Обладает сцепляющими свойствами. В состав пектина входит зола, дисахариды, органические кислоты и вода. Феррит бария – нерастворимый в воде мелкодисперсный порошок черного цвета. Введение в состав клея ФБ увеличивает липкость адгезива, кроме того, он обладает магнитными свойствами. Лишайник (Cladonia) - в виде порошка зеленого цвета, имеет разнообразные медицинские свойства [2].

Смешение компонентов произведено на лабораторных вальцах Polymix 110L фирмы «Брабендер» (Германия) с использованием миксера В50 ЕНТ с овальными (тангенциальными) роторами «Бенбери» по режимам, принятым для базовой резины. Установленные обороты вальцов: 40 об/мин; заданная температура: 120 °С [3].

Эксплуатационные характеристики были определены по стандартным методикам ГОСТа.

Важной особенностью оценки качества клея является прочность клеевого соединения во время расслаивания. Это свойство клея служит основным критерием герметичности клеевого шва на коже пациента и определяет продолжительность эксплуатации.

Испытания на адгезию клеевых композиций проводилась следующим образом. При толщине 1,0 мм на полоску бумаги шириной $15 \pm 0,75$ мм и длиной 240 мм полоску разрезали пополам, зажали между вальцами 10-500 мкм и при скорости 100мм/мин расслаивали согласно с ГОСТ 28966.1 на разрывной машине.

В таблице представлены результаты определения прочностных показателей клеевых композиций.

Таблица 1 – Показатели клеевых композиций

Состав клея	Р, Н	П, кН/м	Вид разрушения
Состав №1	12,72	0,848	АР (15%), ККР (85%)
Состав №2	13,15	0,877	АР (10%), ККР (90%)
Состав №3	15,76	0,984	АР (5%), ККР (95%)
Состав №4	14,16	0,944	ККР (100%)

Примечания: Р, Н – разрушающее усилие, $P_{отс}$, кН/м – прочность при отслаивании, АР-адгезионное разрушение, ККР-когезионное разрушение продукты по клею.

Проводился эксперимент типа 2^2 , где число факторов $k=2$, число уровней $p=2$, число опытов $N=4$, число повторных опытов $n=3$.

Матрица планирования приведена в табл. 2.

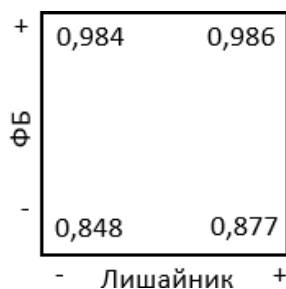
Таблица 2 – Матрицы планирования

Номер опыта	Матрица планирования		Рабочая матрица		Результаты параллельных экспериментов, у: П, кН/м			Среднее, у, P_{cp} , кН/м
	x_1	x_2	Содержание лишайника, масс. %	Содержание ФБ, масс. %				
1	-	-	0,2	0,12	0,853	0,866	0,826	0,848
2	+	-	0,4	0,12	0,946	0,873	0,813	0,877
3	-	+	0,2	0,14	0,946	0,946	1,060	0,984
4	+	+	0,4	0,14	0,980	0,994	0,986	0,986

В данной работе изучено влияние содержания функциональных добавок на прочность адгезива: лишайника и феррита бария. Интервалы варьирования 0,01 и 0,10.

При расчете основных эффектов вручную на основе кубического графика следует использовать следующий графический метод.

Эмпирическую зависимость определим в следующем виде: $y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2$



b_0 – среднее из четырех значений куба, 0,9238;

b_1 – влияние лишайника;

«+»: $0,986 - 0,984 = 0,002$

«-»: $0,877 - 0,848 = 0,029$

Находим среднее значение: $(0,002 + 0,029)/2 = 0,0155$

Разделяем среднее значение на 2. $b_1 = 0,0078$;

b_2 – влияние феррита бария;

«+»: $0,986 - 0,877 = 0,109$

«-»: $0,984 - 0,848 = 0,136$

Аналогично, $b_2 = 0,0613$;

Рисунок 1. Кубический график

Полученная математическая модель в кодовых переменных: $y = 0.9238 + 0.0078x_1 + 0.0613x_2$

Таким образом, в соответствии с проделанной работой можно сделать следующие выводы:

1. Параметром оптимизации выбрана прочность клеевого соединения, факторами оптимизации определены содержания функциональных добавок адгезива – феррита бария и лишайника Cladonia.

2. Проведены лабораторные испытания по определению прочности при расслаивании по ГОСТ 28966.1-91 изготовленных образцов АПЛ с варьируемым содержанием феррита бария и лишайника Cladonia.

3. С использованием метода полного факторного анализа получена математическая модель влияния содержания феррита бария на прочность клеевого соединения:

$$y = 0.9238 + 0.0078x_1 + 0.0613x_2$$

4. Проверка значимости коэффициентов полученной модели показало, что прочностные показатели адгезива определяются в большей степени содержанием феррита бария, влияние содержания лишайника незначимо.

5. Данную математическую модель можно использовать для получения адгезива с заданными прочностными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Клеи, адгезия, технология склеивания [Текст] / Пер. с англ. под ред. Комарова Г.В. – СПб.: Профессия, 2007. – 376 с.
2. Поциус, А.В. Клеи, адгезия, технология склеивания [Текст] / А.В. Поциус. – СПб: Профессия, 2007. – 376 с.
3. Чалдаева, Д. А. Исторические предпосылки производства натурального каучука [Текст] / Д. А. Чалдаева // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – №. 9. – С.91-97.

ЧИСЛЕННОЕ СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ТРАБЕКУЛЯРНОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ И СКАФФОЛДОВ ДЛЯ ЕЕ ЗАМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ РОСТА ТРЕЩИН И РАЗРУШЕНИЯ

Шалимов А. С., Ташкинов М.А.

ПНИПУ, Пермь, Россия

Shalimov96@pstu.ru

“NUMERICAL COMPARISON OF MECHANICAL BEHAVIOR OF TRABECULAR BONE TISSUE AND SCAFFOLDS FOR ITS REPLACEMENT BASED ON CRACK GROWTH AND FRACTURE MODELS”

Живой организм обладает удивительной способностью к самовосстановлению, причем не только мягких тканей, но и твердых – таких как кости. Однако большие костные дефекты и сложные переломы являются серьезными проблемами для организма. В настоящее время использование искусственных заменителей поврежденных участков костной ткани является актуальной темой для обсуждения. Подбор геометрических и механических характеристик таких объектов – это одна из главных задач в данной области. Необходимо, чтобы имплант обладал подобным механическим поведением, что и оригинальный участок костной ткани, а также имел необходимую пористую геометрию для протекания процессов восстановления кости. Этой сферой занимается тканевая инженерия, чтобы

восстанавливать, поддерживать и улучшать функциональность тканей. В последние годы методы тканевой инженерии сочетают с аддитивным производством для послойного создания объектов (искусственных заменителей), которые смогут помочь с лечением поврежденной костной ткани.

Инженерия костной ткани занимается методами замены поврежденной кости путем разработки структур, заменяющих ее защитные и структурные функции, учитывая тот факт, что они должны выдерживать внутренние и внешние нагрузки, приложенные к человеческому телу. Одновременно с этим, разработанные конструкции должны обеспечивать деление клеток и производство новой костной ткани, что способствует заживлению кости. Такие конструкции называются скаффолдами, которые служат каркасом структуры. Скаффолды должны быть биосовместимыми, биорезорбируемыми и биodeградируемыми, чтобы быть принятыми организмом и постепенно замещаться здоровой тканью. Продукты распада скаффолдов также должны быть нетоксичными и неиммуногенными, чтобы перерабатываться естественным образом.

В данной работе были изучены представительные объемы трабекулярной кости – губчатой пористой ткани, встречающейся обычно на концах трубчатых костей и выполняющих поддерживающую и опорную функцию. Трабекулярную кость можно классифицировать как двунепрерывный пористый материал открытого типа, в котором твердая фаза представляет собой взаимосвязанную сеть твердых пластин и связок, называемых лигаменатами. Эти лигаменты составляют прочный и жесткий каркас, предотвращая повреждение костей в местах закрепления трубчатых костей. Геометрия исследуемых структур была получена с помощью сканов реальных трабекулярных костей, используя метод визуализации HR-pQCT (периферическая количественная компьютерная томография высокого разрешения). При построении представительного объема из сканов трабекулярно-костный отдел был отделен от более мягких отделов (таких как кортикальные кости и костный мозг) с помощью фильтрации, чтобы получить пористую структуру. Габаритные размеры представительных объемов $4 \cdot 4 \cdot 4$ мм³. Было рассмотрено несколько различных моделей геометрии с неповторяющейся морфологией [1]. Объемная доля пористой фазы для всех моделей геометрии лежит в диапазоне от 45% до 65%. Геометрические модели структуры трабекулярной кости были преобразованы в конечно-элементный аналог, подходящий для численного анализа.

Многочисленные исследования продемонстрировали возможность использования полилактида (PLA) для изготовления скаффолдов для замещения трабекулярной костной ткани с помощью 3D-печати. Биомиметический дизайн используется для создания скаффолдов, которые могут быть адаптированы к индивидуальным потребностям каждого пациента. Один из подходов к созданию ячеистых пористых структур основан на генерации случайных двухфазных двунепрерывных пористых структур открытого типа, поскольку в разных местах трабекулярной кости морфология структуры будет разной. Другой проверенный подход основан на использовании трижды периодических минимальных поверхностей (ТПМП), которые представляют собой сложные топологии, описываемые математическими тригонометрическими функциями поверхностей. Геометрия исследуемых скаффолдов подбиралась таким образом, чтобы морфометрические параметры (такие как объемная доля и средняя толщина лигаментов) были сопоставимы с параметрами трабекулярных структур.

Геометрические модели структур соразмерных представительных объемов скаффолдов были созданы с помощью аналитического метода определения межфазной поверхности. Он базируется на условии, что если значение аналитической функции в точке меньше заданного параметра разделения фаз, то эта точка принадлежит твердой фазе, а если больше – точка принадлежит пористой фазе. Для генерации геометрических моделей случайных двунепрерывных структур использовалась аналитическая функция случайных гауссовских полей, представляющая собой сумму косинусов со случайным аргументом [2]. Для генерации геометрических моделей структур на основе ТПМП использовались аналитические функции поверхностей Шоена и Шварца, представляющие собой комбинацию сумм и произведений синусов и косинусов с периодическими значениями аргументов [3].

Генерация структур скаффолдов и подготовка всех конечно-элементных моделей выполнена в среде Wolfram Mathematica, численный расчет произведен в прикладном пакете SIMULIA Abaqus. Предполагается упругое линейное поведение материала твердой фазы. Структурам представительных объемов трабекулярных костей были присвоены свойства как трабекулярной кости, так и свойства PLA; а структурам скаффолдов – только случай со свойствами PLA. Представительные объемы были закреплены за нижнюю грань, а к верхней была приложена перпендикулярная растягивающая нагрузка, выраженная в равномерном вертикальном смещении грани на 0.1 мм. Проводился конечно-элементный анализ без учета разрушения структур и с его учетом. Для моделирования роста трещин использовался расширенный метод конечных элементов (XFEM) с применением подхода линейно-упругого разрушения в сочетании с техникой виртуального закрытия трещины (VCCT) и критерием

разрушения Бензегга-Кенана.

Изучено механическое поведение и поведение при разрушении представительных объемов трабекулярных костей и скаффолдов с подобными морфометрическими параметрами. Исследовано влияние морфометрических параметров на напряженно-деформированное состояние двухфазных пористых структур. Для анализа разрушения структуры при моделировании роста трещин использовалась функция объемной доли конечных элементов лигаментов, разорванных трещиной, к общему объему лигаментов. Проведено сравнение эволюции разрушения в представительном объеме трабекулярной кости и скаффолдов.

Результаты получены при выполнении государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на выполнение фундаментальных научных исследований (проект FSNM-2023-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Shalimov, A. Effect of microstructure on trabecular-bone fracture: numerical analysis [Text] / A. Shalimov, E. Smotrova, M. Tashkinov [et al.] // Procedia Structural Integrity. – 2022. – Vol. 42, No. 2021. – P. 1153-1158.
2. Shalimov, A. Numerical investigation of damage accumulation and failure processes in random porous bicontinuous media [Text] / A. Shalimov, M. Tashkinov // Procedia Structural Integrity. – 2020. – Vol. 25, No. 2019. – P. 386-393.
3. Elenskaya, N.V. Numerical Modeling of the Deformation Behavior of Polymer Lattice Structures with a Density Gradient Based on Additive Technologies [Text] / N.V. Elenskaya, M.A. Tashkinov, V.V. Silberschmidt // Vestnik St. Petersburg University: Mathematics. – 2022. – Vol. 55, No. 4. – P. 443-452.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТХОДОВ МИКРОЗЕЛЕНИ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ ЖИВОТНЫХ

Саввинова М.Г., Соловьева М.И.

СВФУ, Якутск, Россия

cmi79@mail.ru

“RESEARCH OF MICROGREEN WASTE AS A RAW MATERIAL FOR ANIMAL FEED BASE”

Успехи в области селекции в современном обществе способствовало к выходу множества усовершенствованных видов растений. Но одним из успехов селекции можно считать выведение микрозелени. Микрозелень на сегодняшний день представляет собой новую категорию овощей, отличающиеся неприхотливым уходом, высоким содержанием витаминов, большим спектром вкусов и ароматов, которые сегодня стремительным образом набирают популярность у потребителя. По результатам последних исследований, установлено, что включение микрозелени в рацион питания человека позволяет обогатить организм человека необходимыми антиоксидантами, микроэлементами, полисахаридами и витаминами [3,4]. В связи с увеличением производства микрозелени, увеличиваются также объемы вторичного сырья, в том числе и корней, которые не используются в кулинарии, а также лузги остающейся после обрушивания семян. Целью настоящего исследования – было определение биологически активных веществ вторичных продуктах микрозелени.

Объектом нашего исследования были проростки пшеницы. Образцы растительного сырья выращивали методом гидропоники в течение 7 дней в воде с водородным показателем pH7, жесткость воды, которой была равна $0,62 \pm 0,09$ Ж, что по международному стандарту характеризовало эту воду как мягкую. Содержание водорастворимых витаминов тиамин (B1), рибофлавин (B2) и аскорбиновой кислоты (C), рассмотрели спектрофотометрическим методом [1,2] в двух образцах: свежая микрозелень (образец 1) и высушенная микрозелень (образец 2). Анализы были проведены в лаборатории общей биологии, Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова. Определение показателей качества вторичного сырья проростков пшеницы: влага, гигровлага, зольность, клетчатка, содержание азота, протеина, фосфора, кальций, калий, нитратного азота, липидов и каротина проводилось в министерстве сельского хозяйства РС (Я), ГБУ «Служба земледелия Республики Саха (Якутия)», в испытательной лаборатории.

Согласно методическим указаниям по оценке качества и питательной ценности кормов Центрального научно-исследовательского института агрохимической службы сельского хозяйства (ЦИНАО), нормативным требованиям по оценке качества и питательной ценности зеленых кормов,

содержание сырого протеина должно быть не менее 10%, сырой клетчатки не более 28% и сырой золы не более 10%. Результаты испытаний полученных образцов соответствуют этим требованиям. Снижение содержания питательных веществ в образцах №2 было незначительно (рис. 1).

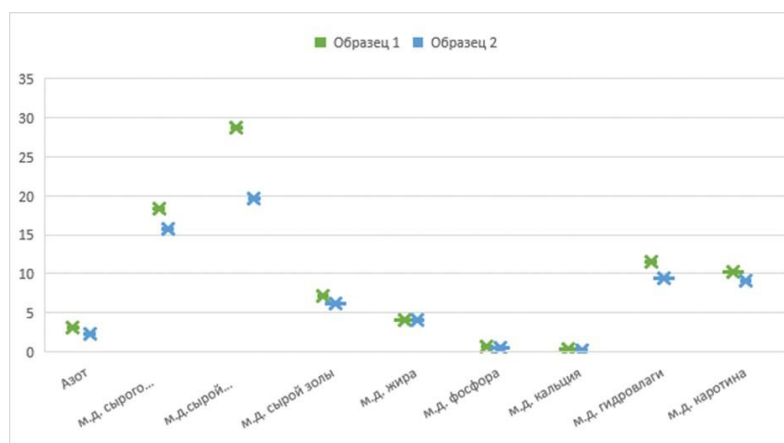


Рисунок 1 – Показатели качества исследованных образцов

Результаты содержания водорастворимых витаминов и показателей качества вторичного сырья микрорзелени представлены в таблице №1. Как видно из таблицы, содержание витаминов в образцах №2 (после высушивания) указывает на сохранение исследованных витаминов, по сравнению со свежими образцами пшеницы.

Таблица 1 – Содержание витаминов в исследованных образцах

№	Витамины	Образец №1	Образец №2
1	B1 (мг на 100г)	0,41±0,01	0,32±0,01
2	B2 (мг на 100г)	0,29±0,01	0,26±0,01
3	C (мг/г)	3,85±0,02	3,33±0,01

В результате проделанной работы можно сделать вывод о том, что содержание водорастворимых витаминов в исследованных растениях при высушивании вторичного сырья микрорзелени, изменяются незначительно и сохраняют качественные показатели. Таким образом, высушенные образцы вторичного продукта микрорзелени, могут быть использованы в качестве источника сырья для кормовой базы животных и перспективны в использовании целлюлозных продуктов в качестве функциональных добавок кормов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Беляков, К.В. Методические подходы к определению биологически активных веществ в лекарственном растительном сырье спектрофотометрическим методом [Текст] / К.В. Беляков. – М., 2004. – С. 186
2. Рогожин, В.В. Методы биохимических исследований. Учебное пособие [Текст] / В.В. Рогожин. – Якутск, 1999. – 113с.
3. Самбуров, А.М. Микрорзелень [Текст] / А.М. Самбуров. – Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург. – 2008. – С. 84–86.
4. Положенцева, Е.И. Сравнительный анализ качества проростков пшеницы как функциональных продуктов питания [Текст] / Е.И. Положенцева, О.В. Платонова // Пищевая промышленность. – 2011. – № 8. – С. 20–21.

Секция № 4: Актуальные проблемы химии и химического образования

ПРОПЕДЕВТИЧЕСКИЙ КУРС «ВВЕДЕНИЕ В ХИМИЮ» ДЛЯ УЧАЩИХСЯ 7 КЛАССА КАК МОТИВАЦИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ХИМИИ

Сивцев П.М., Дмитриева М.С.

СВФУ, Якутск, Россия

petsivcev400@gmail.com

“PROPAEDEUTIC COURSE “INTRODUCTION TO CHEMISTRY” FOR 7TH GRADE STUDENTS AS A MOTIVATION FOR LEARNING CHEMISTRY”

Содержание химического образования определяется интересами и отношением современного общества к науке, которая сегодня направлена на "вхождения новых поколений в глобализованный мир". Химия — это наука обо всем, является важнейшим предметом в системе естественных наук. Данный предмет основывается на фундаментальных законах природы и помогает познать окружающий мир. Он вырабатывает систему знаний о веществах, их взаимодействии. При изучении химии происходит развитие таких качеств ребенка как наблюдательность, способности анализировать, прогнозировать, делать выводы. Получение знаний по химии начинается с эмпирического уровня: наблюдения, осмысление увиденного. Затем происходит преобразование первоначальных знаний с помощью символов, формул, уравнений реакций. Потом ученик начинает размышлять, что же происходит на молекулярном, атомарном уровне. Все это способствует развитию химического мышления.

Но когда закладываются базовые знания предмета химия, стойкий интерес к нему развивается крайне редко, так как у учеников нет стимула достижения положительного результата по дисциплине. В связи с этим, необходимо искать способы решения этой проблемы.

Наибольший познавательный интерес к химии, к экспериментам имеют учащиеся 6-7-х классов. Данный возраст является наиболее благоприятным для изучения химии, но базы знаний учащихся еще мало для введения систематического курса. Выходом из данной ситуации может быть пропедевтический курс химии 7 класса, который призван, используя интерес учащихся к экспериментам, сформировать умение наблюдать, делать выводы на основе наблюдений, получить первоначальные понятия о классах неорганических веществ. Учащимся предоставляется время для привыкания к химическому языку, химической символике, приобретения практических умений, что способствует более осмысленному использованию ими ключевых понятий и выработке экспериментальных навыков в 8-м классе.

Данный курс знакомства с химией в 7 классе совпадает по времени с изучением тех же понятий в курсе физики, и это способствует более глубокому усвоению материала. Кроме этого, в этом курсе используется материал, связанный с биологией.

В данной ситуации главной целью работы учителя становится мотивация учеников к изучению предмета «Химия». А мотивация — это побуждение к действию; психофизиологический процесс, управляющий поведением человека, задающий его направленность, организацию, активность и устойчивость; способность человека деятельно удовлетворять свои потребности. Учебная мотивация заключается в разъяснении цели изучения того или иного материала, то есть ученик должен понимать, чем в дальнейшем ему пригодятся эти знания в жизни. Например, при изучении свойств кислых солей рассказать о реакции, которая хорошо всем знакома в быту, с химической точки зрения. Гашение уксусной кислотой пищевой соды при изготовлении теста для выпечки: $\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} = \text{CO}_2 + \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$ Выделяемый при этом углекислый газ придает пышность и мягкость тесту.

В результате прохождения программного материала обучающийся должен знать: химический язык (знаки химических элементов); применение некоторых веществ; правила техники безопасности при работе с химическими веществами.

Уметь: писать, называть знаки химических элементов; различать простые и сложные вещества; составлять простейшие химические формулы; выполнять простейшие расчеты по химическим формулам; наблюдать, описывать, сравнивать, анализировать, моделировать химические процессы; выполнять простейший химический эксперимент; выдвигать гипотезы, делать выводы; соблюдать правила ТБ при работе с веществами на уроке и в домашних условиях.

Содержание курса

Тема 1. Предмет химии и её история. Знакомит учащихся с сущностью предмета, историей формирования химии как науки. Что изучает химия. Египет – родина химии. Современная химия, её

положительное и отрицательное значение в жизни современного общества.

Тема 2. Вещество. Самая объемная и насыщенная, продолжает межпредметную интеграцию с физикой, биологией, формируя устойчивое представление о веществах простых и сложных, о частицах вещества (атомах, ионах, молекулах), основных характеристиках веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии. Дается представление о физических явлениях. Учащиеся получают знания о химических элементах и простых веществах ими образованных, применение их человеком с древних времен и до наших дней. Здесь учащиеся знакомятся с простейшими химическими расчетами по формулам веществ, со смесями и способами их разделения. Превращение веществ, их роль в жизни современного человека. Свойства веществ как основа их применения.

Демонстрации. 1. Коллекции физических тел из одного вещества (стеклянной лабораторной посуды). 2. Переходы воды в различные агрегатные состояния. 3. Образцы химических препаратов с указанием степени их чистоты. 4. Аптечные и пищевые растворы с указанием их состава.

Тема 3. Химические реакции (6 ч.) Содержит информацию о химических явлениях и дает представление о методологии познания окружающей природы в системе естественных наук.

Химические явления и химические реакции. Признаки химических реакций (изменение окраски, появление запаха, выделение газа, выделение или поглощение тепла, выпадение осадка). Условия протекания и прекращения химических реакций (соприкосновение веществ, растворение, измельчение, доступ кислорода при горении). Изменения, которые происходят с пищевыми продуктами при неправильном хранении. Нейтрализация действия уксусной кислоты раствором питьевой соды, и гашеной извести – раствором борной кислоты. Фотосинтез – химическая реакция, происходящая в зеленых растениях, её значение для живой природы. Реакции горения, их значение для человека. Коррозия – пример реакции бесполезной для человека. Качественные реакции в химии: действие уксусной кислоты и питьевой соды на индикаторы химические и природные.

Демонстрация. 1. Выпадение осадка гидроксида меди. 2. Взаимодействие питьевой соды с уксусной кислотой. 3. Помутнение известковой воды при взаимодействии с углекислым газом. 4. Коррозия железного гвоздя в разных условиях.

Тема 4. Экспериментальные основы химии. (6 ч.) у учащихся формируются практические навыки по работе с химическим оборудованием, веществами, соблюдением ТБ.

Знакомство с химическим оборудованием. Техника безопасности при работе с химическими веществами. Разделение смеси поваренной соли и речного песка. Приготовление раствора поваренной соли заданной концентрации. Выращивание кристаллов поваренной соли. Наблюдение за горящей свечой. Работа со спиртовкой. Определение зон пламени свечи и спиртовки.

Практические работы. 1. Знакомство с химическим оборудованием. Правила ТБ. 2. Наблюдение за горящей свечой. Устройство и работа спиртовки. 3. Разделение смесей 4. Приготовление раствора с заданной массовой долей растворенного вещества. 5. Выращивание кристаллов поваренной соли.

О СОЗДАНИИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ СЕКЦИИ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН ПО КЕРАМИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ

Папынов Е.К.¹, Ярусова С.Б.², Буравлев И.Ю.¹, Шичалин О.О.^{1,3}

¹ДВУ, Владивосток, Россия; ²ВВГУ, Владивосток, Россия; ³СахГУ, Южно-Сахалинск, Россия

yarusova_10@mail.ru

**“ON THE FORMATION AND ACTIVITIES OF THE FAR EAST SECTION OF THE SCIENTIFIC
COUNCIL OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES ON CERAMIC
MATERIALS”**

Научный совет РАН по керамическим материалам создан в 2010 г. Этот научно-консультативный орган РАН при Отделении химии и наук о материалах РАН обладает существенным функционалом. В задачи Научного совета входит проведение анализа состояния и тенденций развития отечественной и мировой науки в области керамических материалов, подготовка рекомендаций для РАН и заинтересованных органов государственной власти, составление координационных планов и научных программ, координация деятельности научно-исследовательских организаций, промышленных предприятий и Российского керамического общества. Совет включает секции оксидной керамики, бескислородной керамики, покрытий, композиционной керамики, прозрачных керамических материалов, стеклообразных материалов и Дальневосточную секцию.

Дальневосточная секция Научного совета РАН создана в 2020 г. В состав секции вошли ученые – специалисты в области технологии современных керамических материалов из числа ключевых

университетов Дальневосточного региона – Дальневосточного федерального университета (ДВФУ, г. Владивосток), Северо-восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (СВФУ, г. Якутск), Владивостокского государственного университета (ВВГУ, г. Владивосток) и научных институтов Дальневосточного отделения Российской академии наук (Института химии ДВО РАН, Института автоматики и процессов управления ДВО РАН, Института геологии и природопользования ДВО РАН, Института материаловедения ХНЦ ДВО РАН), и за прошедший трехлетний период членами Дальневосточной секции проведен значительный объем комплексных исследований по получению функциональных керамических материалов, твердых сплавов, полимерных композиционных материалов, в том числе, с использованием природных и техногенных компонентов.

Среди спектра керамических материалов, полученных с использованием метода искрового плазменного спекания (ИПС) – остеопластические керамические биокomпозиты на основе волластонита (CaSiO_3) в составе с гидроксипатитом ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) для регенерации и реконструкции костных дефектов в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии; минералоподобные керамические матрицы на основе SrWO_4 , $\text{SrAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ для иммобилизации высокоэнергетического изотопа ^{90}Sr ; керамические матрицы на основе SrTiO_3 со структурой перовскита для технологий кондиционирования радиоактивных отходов и производства радиоизотопных изделий; двухфазная керамика $\text{SrTiO}_3\text{--TiO}_2$ как перспективная система для термоэлектриков *n*-типа с использованием особенностей двумерного электронного газа; керамические топливные композиты UO_2 в составе с выгорающими поглотителями (ВП) нейтронов Gd_2O_3 , Eu_2O_3 , Y_2O_3 ; твердотельные люминофоры в форме бифазных керамик $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Ce:YAG}$ и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Ce:(Y,Gd)AG}$ для использования в качестве преобразователей цвета для светодиодных систем; стеклокерамика на основе биоактивного стекла «45S5 Bioglass» для костной имплантологии; биомиметические пористые керамические композиты с использованием панцирей морских ежей; биокерамика на основе ZrO_2 и гидроксипатита (ГАП) для нужд регенеративной и реконструктивной хирургии; сцинтилляционная керамика на основе $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (Ce:LuAG), легированная Ce^{3+} ; литийпроводящая керамика состава $\text{Li}_{1.3}\text{Al}_{0.3}\text{Ti}_{1.7}(\text{PO}_4)_3$; керамический материал на основе карбида кремния (SiC) и его композитная форма с добавкой диборида гафния (SiC-NfB_2); композитная стеклокерамика, состоящая из микрокристаллов танталата кальция, заключенных в стеклянную оболочку, для лечения больных, нуждающихся в лучевой терапии и др.

На основе алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных металлов получены высокоэффективные керамические матрицы (KAlSi_3O_8 , $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2.5\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$, CaSiO_3 и др.) для иммобилизации радионуклидов цезия-137, кобальта-60, соответствующие всем требованиям для отвержденных радиоактивных отходов.

Предложен гидротермальный способ получения игольчатого волластонита (CaSiO_3) из различных многокомпонентных систем, в том числе, с использованием отходов производства борной кислоты (борогипса). Совместно с Северо-Восточным федеральным университетом им. М.К. Аммосова (г. Якутск) проведен значительный объем исследований по получению и функциональным свойствам полимерных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и волластонита.

Изучено термическое поведение порошков силикатов двухкомпонентной системы $\text{CaSiO}_3\text{--PbSiO}_3$, перспективной для использования в качестве основы терморегулирующих покрытий космических аппаратов.

Исследован процесс изготовления твердых сплавов на основе карбида вольфрама по технологии комбинированного механохимического синтеза и искровой плазменной консолидации. Впервые исследован способ высокоскоростной фабрикации и проведена сравнительная оценка характеристик твердых сплавов, полученных из порошковых композиций металлокарбидных систем WC (Co, Fe, Ni, Cr, Ti) по технологии ИПС. Отработан способ получения функционально-градиентного материала (ФГМ) гетерогенного (слоистого) типа на основе соединенных металлов Cr-Ti-Fe-Ni-Co-Cu с применением технологии ИПС.

Полученные результаты отражены в нескольких десятках статей в высокорейтинговых российских и зарубежных журналах, глав в монографиях. Представлено более 20 докладов на российских и международных конференциях.

В 2022 г. вышел первый совместный научный труд членов Дальневосточной секции Научного совета РАН по керамическим материалам – коллективная монография «Функциональные керамические и композитные материалы практического назначения: синтез, свойства, применение» [1]. В монографии представлены работы и результаты научных исследований, включающие разнообразные авторские подходы химического синтеза в получении широкого спектра функциональных керамических и композитных материалов на основе оксидов, алюмосиликатов,

силикатов, боридов и др., в том числе, в составе с полимерными матрицами на основе полиэтилена и политетрафторэтилена. Уделено детальное внимание изучению физико-химических основ формирования состава и структуры материалов, морфологических особенностей, физико-механических характеристик и индивидуальных функциональных свойств. Книга отмечена двумя дипломами на 24-й Дальневосточной книжной выставке-ярмарке «Печатный двор-2023» – дипломом Дальневосточной выставки «Печатный Двор» и дипломом **Российского союза промышленников и предпринимателей** [2].

Ученые Дальневосточной секции активно взаимодействуют с зарубежными коллегами и коллегами из других регионов России. Среди российских партнеров – Институт общей и неорганической химии Российской академии наук, Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, Московский авиационный институт, Кольский научный центр РАН, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Тихоокеанский государственный медицинский университет, Приморский краевой онкологический диспансер.

Среди зарубежных партнеров наиболее активно развивается сотрудничество с учеными из КНР, Беларуси, Армении, Литвы, Алжира. Результатом такого сотрудничества являются совместные статьи и монографии. Помимо вышеупомянутой монографии, в 2022 г. при поддержке ученых из Алжира по тематике секции опубликована глава в монографии *Energy Aspects of Acoustic Cavitation and Sonochemistry* (издательство Elsevier) [3].

Отдельно стоит сказать о сотрудничестве членов Дальневосточной секции с Шанхайским институтом керамики Китайской академии наук (SICCAS). Это яркий пример продуктивного сотрудничества, позволившего за относительно короткий период совместной работы достичь высоких индикативных показателей, включающих опубликование более 10 научных статей Scopus и Web of Science первого и второго квартиля, реализация двух программ по научному обмену специалистов, участие в грантовых конкурсах ведущих научных фондов России и Китая и др.

Председатель Дальневосточной секции Е.К. Папынов с учеными Института наукоемких технологий и передовых материалов Дальневосточного федерального университета (ИНТиПМ ДВФУ) в 2023 г. посетили SICCAS и приняли участие в научных семинарах, организованных коллегами учеными из Китая. В ходе визита ученые ИНТиПМ ДВФУ выступили с пленарными лекциями и заслушали научные доклады исследователей SICCAS в области разработки и изучения новых функциональных керамических материалов, а также в области изучения и сохранения материально-культурного наследия [4].

Для повышения эффективности и дальнейшего развития научных исследований Дальневосточной секции, представленной учеными Дальневосточного отделения РАН и ведущих вузов Дальневосточного региона России, принято решение расширять состав секции за счет привлечения ученых, в том числе, представителей вышеупомянутых партнерских организаций.

Таким образом, с момента создания Дальневосточной секции Научного совета РАН по керамическим материалам за короткий период достигнуты высокие научно-технические результаты, в том числе при активном развитии устойчивой внутрироссийской и международной коллаборации между членами Дальневосточной секции и другими научно-исследовательскими, медицинскими, образовательными организациями. Все это открывает перспективы для более эффективной научно-технической, инновационной деятельности, получения новых научных результатов и разработки качественных образовательных программ, реализации совместных научных проектов и программ академического обмена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сергиенко, В.И. Функциональные керамические и композитные материалы практического назначения: синтез, свойства, применение: монография [Текст] / В.И. Сергиенко. – Владивосток: Изд-во ВВГУ, 2022. – 240 с.
2. [Электронный ресурс] Издательство ВВГУ удостоено награды Дальневосточной выставки «Печатный Двор» за лучшие книги. https://www.vvsu.ru/latest/article/2151514754/Izdatel_stvo_VVGU_udostoeno/
3. Yarusova, S.B. The use of ultrasonic treatment in technological processes of complex processing of industrial waste: Energetic insights [Text] / S.B. Yarusova, P.S. Gordienko, I.Y. Buravlev [et al.] // *Energy Aspects of Acoustic Cavitation and Sonochemistry*. – Elsevier, 2022. – P. 299-313.
4. [Электронный ресурс] https://www.dvfu.ru/news/fefu-news/uchenye_dvfu_i_kitayskoy_akademii_nauk_budut_provodit_sovmestnye_issledovaniya_v_innovatsionnoy_deyatelnosti/

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ К ОГЭ ПО ХИМИИ ДЛЯ УЧЕНИКОВ БАЗОВОГО ПРОФИЛЯ

Пермякова М.А.

МБОУ СОШ №2 ГО «Жатай», Якутск, Россия

holmogorova.007@gmail.com

“METHODS OF PREPARATION FOR THE OGE IN CHEMISTRY FOR STUDENTS OF THE BASIC PROFILE”

Одной из актуальных проблем для каждого учителя-предметника является качественная подготовка обучающихся к основному государственному экзамену по выбору, так как итоговая аттестация является показателем уровня усвоения образовательной программы. В 9 классе перед учениками, кроме основных экзаменов, встает выбор дополнительного предмета для сдачи. Одним из них является химия. Изучив различные источники по проблеме подготовки можно выделить следующие проблемы: низкая мотивация к обучению, учебно-методическое обеспечение, недостаточное количество часов, отведенное на изучение химии и низкая база знаний. Все вышеперечисленные проблемы возникают из-за того, что многие выбирают предмет без цели, несоответствие желаний ребенка с родителями или несоответствие уровня знаний с выбора профессии. Наиболее эффективным способом решения проблемы является разработка методики подготовки к сдаче ОГЭ по химии от простого к сложному.

Цель: создание условия для успешной сдачи ОГЭ по химии базового профиля

Задачи:

- 1) анализировать типы заданий ОГЭ по химии
- 2) разработать методику подготовки к ОГЭ по химии.

Методы исследования: мониторинг, анализ результатов экзамена.

Практическая значимость: работа будет полезна школьникам для составления плана самостоятельной подготовки к ОГЭ, для учителей химии и репетиторов методической базой при подготовке своих учеников.

Сущность разработанной методики заключается в подготовке обучающихся от простого к общему. Таким образом методика будет разработана от заданий базового уровня к заданиям повышенного уровня. Сама методика состоит из двух частей: мотивирующей и обучающей.

Для мотивирующей части составлена модель успешной сдачи экзамена.

Пробный экзамен – разбор заданий ОГЭ – мотивация на успех – школьные консультации – самостоятельная подготовка = успешная сдача экзаменов.

Для начала подготовки обучающимся дается пробный экзамен. Результаты данного этого пробного экзамена будут началом для сравнения с дальнейшими результатами. Пробные экзамены проводятся 2 раза за четверть. За год минимум у ученика будет 8 пробных экзаменов за спиной. Для того чтобы провести мониторинг успеваемости ученика создана таблица в онлайн-сервисе «Гугл таблицы», где ученики могут самостоятельно следить за своей успеваемостью. Далее разбор типов заданий и тем. Сколько баллов дается максимум, порог, на какие задания дается сколько баллов. Затем составляется список заданий, решив которой можно получить порог. Тем самым мы даем понять ученикам что можно сдать ОГЭ по химии.

Обучающую часть начинаем с анализа пробных экзаменов. При изучении тем упор делаем на задания, где больше всего совершаются ошибки. Темы и задания будут последовать от простых заданий к сложному, на внеурочных занятиях на половину дается теоретический материал с объяснениями, затем решение заданий экзамена. На уроках во время самостоятельных работ выдается задания из ОГЭ.

В результате применения данной методики с 2021 года до настоящего времени наблюдается повышение процента правильности выполнения заданий, в которых школьники совершали ошибки.

Выводы:

1. При проведении анализа заданий ОГЭ по химии, выявили следующие типы заданий: задание с выбором 1 правильного ответа, с множественным выбором, установление соответствия, краткий ответ и развернутый ответ.
2. Разработана методика подготовки школьников к ОГЭ по химии базового профиля, которая состоит из двух частей: мотивирующей и обучающей. В рамках методики была создана таблица наблюдения и план изучения тем по химии. Таким образом разработанная методика по подготовке к основному государственному экзамену дает положительную динамику при сдаче экзамена.

ШКОЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ПО ХИМИИ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ ДИВЕРГЕНТНОГО МЫШЛЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Едисеева Е.В., Андреева М.П., Егорова К.Е.

СВФУ, Якутск, Россия

aelenv@yandex.ru

“SCHOOL OLYMPIAD IN CHEMISTRY AS A MEANS OF DEVELOPING DIVERGENT THINKING OF STUDENTS”

Как известно, одним из главных факторов успешного решения основных целей и задач школьного образования является реализация основных идей федерального государственного образовательного стандарта. Наряду с требованиями к структуре образовательных программ и условиям их реализации, во ФГОСе аккумулированы требования к достижению обучающимися планируемых образовательных результатов. Особую значимость и перспективное значение такие требования имеют на уровне среднего общего образования, что определяется контекстом решаемых задач в рамках подготовки старшеклассников к взрослой жизни и продолжению своего образования. Главную роль в реализации его выполняют конкретные школы, в задачи которых входит подготовка обучающегося к активной и результативной деятельности в различных направлениях жизни российского государства. При этом старшеклассники оказываются перед необходимостью самостоятельного и ответственного решения множества разнообразных задач личностного, учебно-профессионального и социального характера. Для их осуществления требуется умение получать информацию, перерабатывать, сравнивать и обобщать ее, применять знания в новых условиях, находить логические связи, формулировать планы, выделять и анализировать существенное и т. п.

Вместе с тем, успешность обучающихся находится в прямой зависимости от сформированности у них способности к самостоятельности, творческих умений, а также готовности осуществлять мыслительную деятельность. Сегодняшние ученики должны хорошо ориентироваться в различных областях деятельности человека, уверенно переходить из одной сферы человеческой деятельности в другую, использовать наличные знания и умения в различных ситуациях. Вполне очевидно, что учащимся современной школы требуется развитое дивергентное мышление.

На наш взгляд, наиболее эффективно процесс развития дивергентного мышления обучающихся может осуществляться в рамках предметной олимпиады школьников.

Как известно, в основе данного вида интеллектуальных соревнований, поиск и конструирования оригинальных решений для различного вида учебно-познавательных задач является благоприятной средой для развития дивергентного мышления старшеклассников.

Понятие «дивергентное мышление» впервые ввел американский психолог Джой Пол Гилфорд. Он занимался исследованием человеческого разума и интеллекта. Гилфорд пытался выстроить модель интеллекта, которая была многомерной и включала в себя три измерения (содержание, операции, результаты мышления), которые в свою очередь делились на переменные.

Дивергентное мышление – это метод творческого мыслительного процесса, который заключается в поиске множества верных решений одной и той же проблемы или задачи. Наиболее оптимальным вариантом творческого мыслительного процесса в обучении химии мы видим школьные олимпиады по химии, поскольку олимпиадные задачи по своему содержанию и логике построения принципиально отличаются от обычных программных задач, где предполагается множественность ответов, многообразие способов их получения. Как пишут исследователи, по существу, предметная олимпиада школьников всегда являлась критерием высокой оценки личности обучающегося, поскольку в рамках олимпиад выступают мировоззренческая глубина участников, креативность, доказательность, обоснованность предлагаемых решений, применение оригинальных методов и средств. И поэтому предметные олимпиады подвигают школьников к проверке и критическому анализу своих знаний, возможностей и академических достижений. В процессе принятия участия в олимпиадах каждый ученик предметной олимпиады приобретают практику самостоятельного поиска информации и работы с ней. Предметные олимпиады осуществляются на базе совместной творческой деятельности, в рамках которой между ее участниками происходит обмен накопленными знаниями и навыками.

Исходя из вышеизложенного понятно, что для того, чтобы развить дивергентное мышление у обучающихся нужна специальная системная работа учителя, где в качестве условий могут выступить: а) интеграция урочной и внеурочной учебной деятельности старшеклассников для обогащения содержания процесса подготовки к предметной олимпиаде; б) вовлечение старшеклассников в конкурентные отношения, характерные для олимпиадного движения школьников; в) содействие старшеклассникам в освоении практик ознакомления с опытом сверстников, демонстрирующих

результативное участие в предметных олимпиадах.

Вместе с тем, роль предметных олимпиад школьников в образовании до сих пор не получила всесторонней оценки, исследователи отмечают, что в современной педагогической науке отсутствует целостное рассмотрение олимпиады как образовательной формы, специально направленной на саморазвитие личности учащихся.

Успешное участие в предметных олимпиадах может проявить еще больший интерес к изучаемому предмету, развивать дивергентное мышление, повышать мотивацию и познавательный интерес обучающегося, но для этого нужна системная работа учителя предметника, включая урочную и внеурочную деятельность, а также дополнительные занятия. Только такой подход способствует формированию и развитию личностных качеств, как целеустремленность, усердие, настойчивость. Особо следует выделить развитие волевых качеств личности, формированию особого чувства как «радость победы над собой» или «радость решенной задачи», полученной путем интеллектуального напряжения.

Для проверки основной идеи нашего исследования на базе Покровской средней общеобразовательной школы №1 и №2 среди учащихся 8 классов был поставлен педагогический эксперимент.

На констатирующем этапе эксперимента среди учителей химии Хангаласского улуса нами был проведен опрос с целью выявления причин неуспешных выступлений учащихся на олимпиадах по химии и трудностей подготовки их к олимпиаде. Результаты опроса показали, что причиной неуспешного выступления учащихся на олимпиаде по химии многие учителя считают отсутствие хороших методических пособий, как для учителя, так и для учащихся, неполноценно владеют технологией работы с одаренными детьми, определенная часть указывают, что у учителя нет свободного времени на индивидуальную работу со школьниками и ряд других факторов.

На обучающем этапе проведена системная подготовка школьников к олимпиаде. Для составления материалов олимпиады нами были использованы исторические факты, биография ученых-химиков, составили алгоритмы решения задач для самостоятельной подготовки. Для учащихся 6-7 классов был организован элективный курс, «Химический БУМ», для учащихся 8 класса - «Химическая мозаика». В каждом элективном курсе делали уклон к практическим занятиям и экспериментам. Во время занятий, на этапе закрепления нового материала, проводили викторины, конкурсы, выявляли лучшего экспериментатора. За неделю до олимпиады выставляли демонстрационную версию олимпиады.

На контролирующем этапе была проведена внутришкольная олимпиада по химии среди учащихся 7 и 8 класса. Почему мы охватили 7 класс? Проверено предположение о том, что у этих учащихся познавательная активность выше, чем у 8-классников, проверены их общий кругозор и готовность к изучению химии. В олимпиадные задания были включены вопросы по истории химии, из жизни великих химиков, «химического окружения» человека и по периодической системе химических элементов. Задания для 7 класса были в виде тестовых заданий, а для 8 класса помимо тестовых заданий были задания с открытым ответом и расчетные задачи.

Результаты олимпиадных работ показали, что системно-деятельностный подход обеспечивает вполне успешное участие на олимпиаде по химии. Предположение о том, что нужна системная работа учителя предметника - подтвердилась. После проведенного эксперимента, получили значительно хорошие результаты обучающихся - на школьном этапе участвовали 18 учащихся, из них на муниципальный этап прошли 10, призовые места заняли 3. Кроме этого, младшая группа прошла на региональный этап чемпионата Junior Skills по компетенции «Лабораторный химический анализ» и заняла 4 место.

Наблюдения показывают, что у многих участников чемпионата Junior Skills и школьной олимпиады по химии повысилась мотивация, появился устойчивый познавательный интерес к предмету химия и стали мыслить более творчески. Сейчас каждый понимает, что химия – интересная и увлекательная наука, что в современном мире роль и значение химии в жизни человека будет усиливаться. В конечном итоге школьная олимпиада по химии не только повышает предметные знания, но и хорошо развивает дивергентное мышление обучающихся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гилфорд, Дж. Структурная модель интеллекта. Психология мышления: сборник [Текст] / Дж. Гилфорд / под ред. А.М. Матюшкина. – Москва: Прогресс, 1965. – 37-45 с.
2. Едисеева, Е.В. Организация школьного этапа олимпиады по химии на основе деятельностного подхода [Текст] / Е.В. Едисеева, М.П. Андреева // Естественнонаучное образование в условиях перехода на новые государственные образовательные стандарты: опыт и перспективы с элементами

- научной молодежной школы «Профессиональные компетенции учителя- естественника» (Якутск, 21-26 марта 2016 г.). – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2016. - С.169.
3. Медведев, Ю.Н. Химические олимпиады [Текст] / Ю.Н. Медведев // Химия для школьников. – 2006. – №1. – С. 34.
4. Можаяев, Г.М. Подготовка школьников к олимпиадам по химии [Текст] / Г.М. Можаяев // Химия в школе. – 2008. – №7. – С. 69.
5. Тетина, С.В. Предметная олимпиада школьников как средство развития дивергентного мышления старшеклассников [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. пед. наук: 13.00.01 / Тетина Светлана Владимировна; Челяб. инст.-т переподг.-ки и повыш.-я квал.-и раб.-в обр.-я. – Челябинск, 2019. – С.44-46.

О ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕБНОЙ МОТИВАЦИИ У ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ХИМИИ

Рехлясова Ю.Ю., Андреева М.П.

СВФУ, Якутск, Россия

rekhlyasova92@gmail.com

“ON THE PROBLEM OF FORMING EDUCATIONAL MOTIVATION AMONG STUDENTS WHEN STUDYING CHEMISTRY”

Наш выпускник школы должен обладать сильной внутренней мотивацией и стремлением к самостоятельному поиску знаний, которые необходимы ему для дальнейшего успешного продолжения образования. ФГОС изменяет роль учителя, который перестает быть единственным носителем знания, а становится проводником в мире информации [1]. Перед учителем встает вопрос: как учить? Современная школа теперь должна не просто формировать или развивать необходимые интеллектуальные и личностные качества, но и научить школьников ладить с одноклассниками, со взрослыми; развивать способность строить жизнь своими руками. Непременным условием организации современной учебной деятельности является коренное изменение статуса ученика от пассивного исполнителя указаний учителя на активного субъекта собственной учебной деятельности. В таких условиях учитель выполняет уже другие функции, как организатора учебной деятельности, консультанта, помощника обучающихся в их познавательной деятельности. Такие изменения вызваны тем, что для современного общества требуется выпускник, способный свободно мыслить [2], хорошо ориентирующийся в поиске нужных информации, с твердой жизненной установкой.

Исследования различных авторов свидетельствует о том, что учебная мотивация является основополагающим фактором для эффективного усвоения обучающимися содержания образования. Следовательно, возникает вопрос: какой должна быть модель формирования учебной мотивации у школьников в процессе изучения химии? На основе каких эффективных методов и технологий обучения, чтобы сформировать и развить учебную мотивацию, которая бы вела школьников в мир открытия для себя новых знаний, удивительных событий и явлений?

Известный ученый психолог Л.И. Божович учебную мотивацию понимает, как «... побуждения, характеризующие личность школьника, её основную направленность, ...» [3]. А.К. Маркова понятие учебной мотивации связывает «... с внутренним отношением...» ученика к образованию [4]. Д.Б. Эльконин считает учебную мотивацию особой деятельностью, направленную на осуществление целей обучения, принимаемых учеником в качестве личных целей [5]. Таким образом, учебная мотивация – явление особого характера, определяющее потребность обучающихся в приобретении новых знаний.

Одним из эффективных образовательных технологий формирования учебной мотивации считается сингапурская технология. Суть технологии заключается в том, что новый учебный материал обучающиеся осваивают самостоятельно. Каждый из них может побыть как в роли ученика, так и в роли учителя [6]. Учитель же осуществляет контроль, слушая ответы детей и корректируя их при необходимости. Дети привыкают работать на уроке в соответствии с определенным алгоритмом, выполняя действия по команде педагога.

Нами проведен констатирующий этап педагогического эксперимента в средней общеобразовательной школе №2 г. Олёкминска и Амгино-Олекминской школе. Было проведено анкетирование среди 8-классников с целью выявления уровня сформированности учебной мотивации по методике Н. Г. Лускановой [7].

Обучающимся была предложена анкета, состоящая из 8 вопросов с выбором одного ответа, соответствующего эмоционально-комфортному состоянию школьника. Вопросы анкеты были

рассчитаны на выяснение у обучающихся с каким настроением приходят в школу, что ожидают от уроков, общения с друзьями; уровня учебной мотивации.

Анализ анкетирования показал, что большинство обучающихся чувствуют себя в родной школе комфортно, ответственность за свой учебный успех, ожидают успех на уроках (занятиях), нравится, когда их хвалят за ответственное отношение к учебе, делу, понимают, что интерес к предмету и хорошая учебная работа на уроке – залог успеха во всем. Но вместе с этим, достаточно высок процент обучающихся, у которых поверхностный, внешний интерес к учебе. Например, некоторым достаточно того, что их хвалят за хорошие отметки; одни считают, что достаточно иметь хорошее отношение с учителями, другие ищут любой повод, чтобы пропустить уроки, списывать у одноклассников т. д.

Таким образом, уровень учебной мотивации у обучающихся-участников педагогического эксперимента – средний, это означает, что у доброй половины недостаточно сформирована учебная мотивация, этим объясняется невысокие показатели учебных достижений, выявляемых ВПР, ОГЭ, ЕГЭ, нежелание многих продолжать свое образование, отсутствие интереса к многим явлениям природы и общества. Это позволяет нам продолжить исследование проблемы формирования учебной мотивации на основе сингапурской технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Приказ министерства просвещения РФ от 31.05.2021 №287 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования» (Зарегистрирован 05.07.2021 № 64101).
2. Ковалевская, А.В. Влияние учебной мотивации на успеваемость подростков [Текст] / А.В. Ковалевская // Концепт. – 2015. – №. S1. – С. 126-130.
3. Божович, Л.И. Проблемы формирования личности [Текст] /Л.И. Божович. – 3-е изд. – М.: Московский психолого-социальный институт, Воронеж: НПО «МОДЭК», 2001. – 352 с. – с.190.
4. Маркова, А.К. Формирование мотивации учения в школьном возрасте [Текст] / А.К. Маркова. – М.: Просвещение, 1983. – 296 с.
5. Психологические вопросы формирования учебной деятельности в младшем школьном возрасте [Текст] / Д.Б. Эльконин. – Москва // Хрестоматия по возрастной и педагогической психологии : работы советских психологов периода 1946-1980 годов / ред. И.И. Ильясев, В.Я. Ляудис. – Москва: Издательство Московского университета, 1981. – С. 84-85.
6. Черепухина, О.А. Использование структур Сингапурской технологии в условиях реализации ФГОС [Электронный ресурс] / О.А. Черепухина. – Сочи, 2015. URL: <https://www.prodlenka.org/metodicheskie-razrabotki/275924-primeneniye-singapurskiy-obrazovatelnyy-tehnol/> (Дата обращения: 20.05.2020).
7. Лусканова, Н.Г. Методы исследования детей с трудностями в обучении [Текст] / Н.Г. Лусканова. – Москва: Фолиум, 1993. – 124 с.

30-ЛЕТ ВЫСШЕМУ ХИМИЧЕСКОМУ ОБРАЗОВАНИЮ В СВФУ: ИТОГИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Охлопкова А.А., Федосеева В.И., Мордосова О.Н.

СВФУ, г. Якутск, Россия

okhlopkova@yandex.ru

“30 YEARS OF HIGHER CHEMICAL EDUCATION AT NEFU: RESULTS, PROSPECTS”

В структуре современного Института естественных наук СВФУ химическое отделение занимает свое весомое место. Оно было открыто в апреле 1993 года Постановлением Ученого совета ЯГУ по инициативе доцентов к.х.н. Н.В. Егорова и О.Н. Мордосовой. По итогам вступительных экзаменов по специальности «Химия» было принято 25 студентов. Фундаментальные химические дисциплины читали ведущие преподаватели кафедры общей и неорганической химии, выпускники химических факультетов или аспирантуры центральных вузов, в т. ч. МГУ, ТГУ, СПбГУ. Это к.х.н., доцент Л.А. Игнатъева, к.х.н., доцент А.С. Шарина, старшие преподаватели С.С. Гаврилова и Н.Е. Ноговицына, к.г.-м.н., доцент С.С. Захарова, к.х.н., доцент В.В. Могилева, к.х.н., доцент О.Н. Мордосова, к.х.н., доцент А.А. Охлопкова, к.х.н., доцент З.С. Иванова. Профессорско-преподавательский состав химического отделения был усилен путем приглашения ведущих ученых из профильных академических институтов, в т. ч., к.х.н., доцента В.И. Федосеевой, д.т.н., профессора А.В. Виноградова, к.х.н, доцента Н.Н. Петровой, к.б.н., доцента Т.М. Лабутиной и др.

Кафедра общей и неорганической химии в течение первых 5 лет работы ХО обеспечивала преподавание неорганической, аналитической, физической и коллоидной химии студентам

специальности 011000 – Химия, а также всех дисциплин специализации «Аналитическая химия». Одновременно эта старейшая кафедра обучала студентов других специальностей, в т. ч. БО и ГО БГФ, МЛФ, ИТФ, ГГИ, ФТИ, ИФКИС, впоследствии по мере открытия к этому перечню следует добавить ИМИ, ПИ. Справиться со столь огромной нагрузкой помогали огромный опыт и высокая квалификация преподавателей и лаборантов, много лет работавших на кафедре. Это к.х.н., доцент И.М. Брюханов, к.пед.н., доцент Д.Н. Осогосток, ст. преподаватели Р.К. Захарова, Т.И. Аргылова, С.В. Бочковская, А.И. Павлова, С.С. Гаврилова, О.К. Корякина, С.А. Скосырева, И.Е. Дьяконов, И.Н. Ефимов, П.Е. Колесова, С.П. Дедюкина, Н.И. Гермогенова, к.х.н., ст. преп. Н.Е. Аргылова, лаборанты Р.И. Воронова, М.П. Горохова, А.А. Попова, А.Е. Макарова, М.Е. Макарова и др. Их вклад в дело подготовки кадров различных направлений для родной республики трудно переоценить.

С открытием химического отделения БГФ в 1994 году кафедра биологической и органической химии была реорганизована путем разделения на две кафедры: кафедра высокомолекулярных соединений и органической химии (ВМС и ОХ) и кафедра биологической химии. Заведовал кафедрой ВМС и ОХ, д.т.н., профессор А.В. Виноградов.

В декабре 1998 года по рекомендации аттестационной комиссии Министерства образования и науки и Постановлением ученого совета ЯГУ путем реорганизации кафедры общей и неорганической химии была открыта новая кафедра аналитической и физической химии с целью сосредоточения кадров для работы, в основном, со студентами специальности «Химия». Заведующей кафедрой была избрана к.х.н., доцент О.Н. Мордосова (1998-2007 гг.). С 2007 года кафедрой заведовала д.х.н., профессор Н.Н. Петрова. Важнейшим направлением деятельности новой кафедры с момента открытия являлась учебная работа со студентами – химиками, биологами, экологами, физиками-материаловедами и будущими специалистами в области производства строительных материалов и конструкций (ИТФ).

После открытия химического отделения в соответствии с учебным планом специальности 011000 – Химия основные фундаментальные дисциплины – «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия» изучались в течение 2 семестров, а «Коллоидная химия», «Высокомолекулярные соединения», «Общая химическая технология» – один семестр. Это классическая схема обучения по приведенным дисциплинам, включающая чтение лекций, проведение лабораторных и семинарских занятий. Помимо этих дисциплин, студенты-химики получали солидную подготовку по физике, высшей математике, дисциплинам гуманитарно-социального цикла, были поставлены спецкурсы по химической специализации. Открытие нового направления подготовки было связано с существенным расширением материально-технической базы, появлением новых современных приборов. Этому способствовал переезд факультетов естественного профиля в 1996 г. в новый корпус – КФЕН.

Сотрудниками химических кафедр постоянно проводилась большая работа по разработке и изданию учебно-методической литературы, электронных пособий. Преподаватели ежегодно отмечались на конкурсах ЯГУ как лучшие преподаватели. Для успешной подготовки специалистов в период становления химического отделения (1993- 2008 гг.) издано 30 учебно-методических пособий. Впервые были внедрены инновационные методы обучения, в частности, по всем дисциплинам учебные, контролируемые материалы введены в систему дистанционного обучения Moodle.

В целях подготовки специалистов, востребованных в Республике Саха (Якутия), в 2008 г. на химическом отделении по инициативе д.х.н. Петровой Н.Н. было открыто новое, единственное в РС(Я) направление подготовки бакалавров 240100.62 «Химическая технология и биотехнология», а в 2009г. осуществлен первый набор. Сейчас направление переименовано и называется 18.03.01 «Химическая технология» (ХТ), профиль «Химическая технология углеводородного сырья и углеродных материалов». Оно стабильно готовит специалистов для работы в нефтегазовой отрасли, аналитических лабораториях крупных добывающих компаний, химико-технологических предприятиях. В 2011 году было открыто направление магистратуры по химии в области химического материаловедения, которое дает возможность бакалаврам продолжить свое профильное химическое образование в стенах университета.

Особо следует отметить образование на базе ЯГУ в 2010 г. Северо-Восточного федерального государственного университета под руководством Е.И. Михайловой. Это событие стало подтверждением высокой эффективности и обеспечило новое качество образовательной и научно-исследовательской деятельности. На тот момент химическое отделение (ХО) включало в своем составе 2 кафедры «Общей, аналитической и физической химии» (зав. каф. д.х.н. Петрова Н.Н.) и «ВМС и ОХ» (зав. каф. д.т.н. Охлопкова А.А.). Химики приняли активное участие в трансформации университета в образовательное учреждение нового типа.

С 2017 года в связи с реорганизацией структуры ИЕН химическое отделение Института естественных наук СВФУ существует в виде единого подразделения в результате объединения обеих химических кафедр. Заведует химическим отделением д.х.н., доцент Наталия Николаевна Петрова. На химическом отделении работают 57 сотрудников, как штатных, так и совместителей (25,24 штатных единицы). Из них 5 докторов наук и 24 кандидата наук, острепенность профессорско-преподавательского состава (ППС) отделения составляет 69%. Средний возраст ППС составляет 49 лет.

В настоящее время по всем направлениям на химическом отделении обучаются около 170 студентов химиков и химиков-технологов, 29 магистрантов и 4 аспиранта.

За 30 лет работы химического отделения состоялось 26 выпусков (525 чел.) химиков (ХО) и 11 выпусков (135 чел.) химиков-технологов (ХТ). Из 525 выпускников ХО 37% работают в лабораториях промышленных компаний; 30% – в образовательных учреждениях; 12% – в медицинских учреждениях; 21% – в научно-исследовательских институтах.

По окончании вуза выпускники трудоустраиваются в академических институтах, химических лабораториях крупных компаний: «Алмазы Анабара», «Сургутнефтегаз», «Сахамедпром», Роспотребнадзоре, заводе базальтовых материалов, средних профессиональных (колледжах, техникумах) и высших (университетах, институтах) образовательных организациях, средних (школах), на предприятиях министерств сельского хозяйства, охраны природы, пищевой, горнодобывающей, деревоперерабатывающей промышленности.

В СВФУ с 2014 года успешно работает аспирантура по направлению 18.06.01 «Химическая технология», что позволяет готовить собственные научные кадры из наиболее перспективных студентов. В целом 33 выпускника химического отделения защитили диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, среди них 4 удостоены степени кандидата химических наук, 21 – технических наук, 1 – философских наук, 7 – биологических наук. Химическое отделение гордится своими выпускниками, защитившими докторские степени. Это Изабелла Карловна Иванова, выпускница 1999 года, – доктор химических наук, профессор отделения, ведущий научный сотрудник Института проблем нефти и газа и Владимир Владимирович Шаройко, выпускник 2000 года, – доктор биологических наук, PhD.

Материально-техническая база химического отделения с каждым годом расширяется. Особенно впечатляют научные лаборатории, которые оснащены самым передовым оборудованием мирового уровня (УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов», «Полимерные композиты для Севера»). Для этого коллективы лабораторий получают гранты, участвуют в конкурсах, проектах. И это не единичный факт. В 2019-2023 гг. в соответствии с дорожной картой о сотрудничестве между НК «Роснефть» и СВФУ в 2020 -2023 гг. было закуплено и установлено оборудование для анализа нефти и нефтепродуктов на сумму 25 млн. рублей. В настоящее время планируется открытие лаборатории «Анализ нефти и нефтепродуктов СВФУ-РОСНЕФТЬ».

Наше будущее связано с творческой энергией и амбициями молодых, которые опираются на опыт и знания преподавателей старшего поколения.

Коллектив химического отделения, встречая юбилей, с оптимизмом смотрит в будущее. Создан прочный фундамент для дальнейшего развития, подготовлены молодые кадры.

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ МЕТОДОВ В ОБУЧЕНИИ ХИМИИ

Охлопкова О.Н., Аржакова М.И.

СВФУ, Якутск, Россия

oleokhlopkova@gmail.com

“USE OF INTERACTIVE LEARNING METHODS IN CHEMISTRY”

В современном мире образование ставит акцент на активное вовлечение учащихся в учебный процесс. Это вызвано стремлением к повышению привлекательности образовательного процесса и активизации процесса усвоения знаний. В этом контексте использование интерактивных методов обучения приобретает особую важность, особенно в области химии, где визуализация, практические навыки и эксперименты играют ключевую роль в понимании материала.

Настоящее исследование направлено на теоретический обзор применения интерактивных методов в обучении химии. Обучение химии в основной школе имеет свои особенности, требующие учета интересов, специфику восприятия и уровень подготовки обучающихся. В этой связи понимание принципов и эффективности интерактивных методов в обучении химии является актуальной задачей,

влияющей как на формирование базовых знаний, так и на развитие активной позиции учащихся в учебном процессе.

Исследование основных понятий, психологических и педагогических аспектов использования интерактивных методов в обучении химии, а также сопоставление и анализ существующих теоретических исследований станут основой для определения эффективности и применимости данных методов в рамках обучения химии в основной школе.

Таким образом, целью данной работы является выявление преимуществ и значимости использования интерактивных методов в обучении химии в основной школе, что может привести к более полному усвоению обучающимися химических концепций, активизации их учебной деятельности, а также к развитию ключевых навыков, поощряющих критическое мышление и самостоятельное освоение знаний.

Под интерактивным обучением Н. И. Суворова [1], понимают диалоговое обучение, в ходе которого учащиеся учатся критически мыслить, принимать продуманные решения, участвовать в дискуссиях, общаться с другими людьми. Для этого на уроках организуются индивидуальная, парная, групповая работа, применяются исследовательские проекты, ролевые игры, идет работа с документами и различными источниками информации, используются творческие задания. В процессе такого обучения создаются комфортные условия, когда учащийся чувствует свою успешность, свою интеллектуальную состоятельность, что делает продуктивнее сам процесс обучения. М.В. Кларин [2, 3] подчеркивает необходимость всеми средствами стимулировать познавательную деятельность учащихся, используя с этой целью различные виды учебного диалога, опору на воображение, аналогии и метафоры, работу с концептуальными моделями и т.д.

Интерактивное обучение — способ познания, основанный на диалоговых формах взаимодействия участников образовательного процесса; обучение, погруженное в общение, в ходе которого у обучающихся формируются навыки совместной деятельности. Это метод, при котором «все обучают каждого и каждый обучает всех» (по В. С. Дьяченко).

Интерактивные методы обучения (interactive learning methods) — методы обучения, построенные на активном взаимодействии обучающихся с преподавателем, контентом и между собой в коллаборативном обучении (collaborative learning) [4].

Использование интерактивных методов в обучении химии основано на ряде теоретических принципов, которые охватывают психологические, педагогические и методологические аспекты учебного процесса. При разработке уроков с использованием интерактивных методов обучения придерживались следующих принципов:

- научности - соответствие содержания экскурсий современному уровню химической науки;
- доступности - обеспечение логико-педагогической последовательности учебного материала;
- наглядности - обучение должно быть достаточно наглядными для формирования соответствующих ассоциаций;
- системности - реализацию структурно-функциональных связей между компонентами содержания обучения;
- интеграции - целостное объединение ранее разобщенных одно- и разнородных компонентов (и одновременно, размежевание других компонентов).

Использование интерактивных методов в обучении химии нацелено на создание обучающей среды, где ученик активно конструирует свои собственные знания на основе предыдущего опыта, представлений и самостоятельных открытий. Конструктивистский подход акцентирует внимание на том, что ученики должны активно участвовать в построении своих знаний, используя интерактивные методы для совместного и индивидуального погружения в предметную область.

Сегодня имеются различные классификации интерактивных методов обучения по различным основаниям: по содержанию, применению, по технологическим характеристикам. К наиболее используемым методам можно отнести:

- Обсуждения в классе, представляют собой отличную возможность для анализа химических концепций, их обсуждения и углубленного понимания. Проведение дискуссий стимулирует мышление учащихся и позволяет им высказывать свои мнения, аргументировать свои позиции, а также учиться взаимодействовать с другими учащимися.
- Лабораторные работы, играют ключевую роль в обучении химии, поскольку они позволяют учащимся применять полученные теоретические знания на практике. В результате проведения лабораторных работ, учащиеся могут увидеть, как реагируют вещества, изучить химические процессы в реальном времени и развить умения наблюдения, анализа и интерпретации данных.

- Проектная деятельность, включает в себя создание презентаций, исследование конкретных химических явлений или создание моделей молекул. Этот метод особенно эффективен, поскольку он позволяет учащимся применять свои знания на практике, развивать навыки самостоятельной работы и креативного мышления, а также учиться работать в команде.

- Применение информационно-коммуникационных технологий, онлайн-уроков, вебинаров и специализированных приложений может значительно обогатить процесс обучения химии. Технологии позволяют создавать интерактивные модели, визуализации химических процессов, что делает учебный процесс более привлекательным и доступным для учащихся.

Мы считаем, что использование интерактивных методов в обучении химии способствуют более глубокому и структурированному пониманию химических концепций; развитию мотивации и интереса к предмету.

Проведенный обзор позволяет сделать вывод о значительном влиянии интерактивных методов на эффективность обучения химии. Применение таких методов способствует формированию положительного отношения к химии среди учащихся, развитию интереса к научным знаниям и формированию базовых представлений о химических процессах. Особенно важна индивидуальная подготовка учителей к применению интерактивных методов в контексте начальной школы, для того чтобы обеспечить максимальный эффект обучения через использование таких методов.

Таким образом, использование интерактивных методов в обучении химии на начальной ступени образования имеет огромный потенциал для формирования у учащихся устойчивого интереса к предмету и развития критического мышления. Дальнейшие исследования и разработка конкретных методик в работе с младшими школьниками могут дать дополнительные инструменты для повышения качества образования и формирования нового поколения научно грамотных граждан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Суворова, Н.И. Интерактивное обучение: новые подходы [Текст] / Н. Суворова. – М.: Учитель, 2000. – №. 1. – С. 25–27.
2. Кларин, М.В. Интерактивное обучение–инструмент освоения нового опыта [Текст] / М.В. Кларин // Педагогика. – 2000. – Т. 7. – С. 12-18.
3. Кларин, М.В. Инновации в мировой педагогике: обучение на основе исследования, игры, дискуссии [Текст] / М.В. Кларин. – 1995.
4. СберУниверситет [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://sberbank-university.ru/edutech-club/glossary/937>

ИГРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ХИМИИ

Неустроева Т.А., Федорова С.А.

СВФУ, Якутск, Россия

tasyaneustroeva2003@gmail.com

“GAME TECHNOLOGIES AS A BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF COGNITIVE INTEREST OF CHEMISTRY STUDENTS”

В современном быстро меняющемся мире образовательный процесс должен быть направлен на формирование личности, способной смело разрабатывать собственную стратегию поведения, осуществлять нравственный выбор и нести за него ответственность, т.е. личности саморазвивающейся и самореализующейся. Большую роль при этом играют активные методы обучения, в том числе игровые, которые позволяют использовать все уровни усвоения знаний: от воспроизводящей деятельности через преобразующую к главной цели – творческо-поисковой деятельности. Игровым методам обучения уделяется достаточно много внимания в практике современного естественнонаучного образования (Orlik, 2005; Васильева, 2005; Ионова, 2006; Алексеева, 2007; Нечитайлова, 2007; Имедеева, 2007; Ячменцева, 2007; Maciejowska, 2008; Кормилицына, 2008; Gulinska, 2009).

Как показывает практика, проведение уроков в игровой форме существенно повышает интерес учащихся к предмету, позволяет активизировать процесс усвоения новых знаний. Этапы подготовки урока включает предварительную подготовку (организационный момент, разделение учащихся на команды), собственно проведение игры и заключение (подведение итогов, выставления оценок). При

подготовке к уроку-игре необходимо учесть временные рамки проведения игры, а также уровень знаний и возможные особенности учащихся.

Целью данной работы было выяснение возможности развития познавательного интереса к изучению химии путем использования игровых методов обучения.

На первом этапе исследования с целью выявления отношения к игре в учебной деятельности учащимися 8 класса предложена была анкетирование:

- Нравиться ли тебе играть на уроке?
- На каких уроках тебе хотелось бы играть?
- Как ты любишь больше играть один или с друзьями?
- Хочешь ли побеждать в игре?

Результаты анкетирования показывают, что большинству учащихся нравится игры на уроках и что на каждом уроке игра им интересна. Более предпочтительна для детей групповая форма игр и большинство учащихся ходят выигрывать и побеждать.

Следующий этап включает проведение урока-игры. Цель игры: обобщение и закрепление знаний в основных классах неорганических соединений.

Игра включает 9 конкурсов. **Конкурс I** - Определения: оксиды, основания, кислоты, соли. **Конкурс II, III** - Классификация и номенклатура сложных неорганических веществ. **Конкурс IV** - Качественные реакции на кислоты, щелочи. **Конкурс V** - Составление формул кислот, солей, оснований, оксидов. **Конкурс VI** - Химические свойства щелочей и нерастворимых оснований. **Конкурс VII** - Химические свойства основных и кислотных оксидов. **Конкурс VIII** - Химические свойства кислот. **Конкурс IX** - Химические свойства солей.

Учащиеся делятся на 4 команды.

Конкурс I. Учащимся дается текст с пропущенными словами.

Оксиды – это вещества, состоящие из элементов, один из которых – со степенью окисления

Основания – это вещества, состоящие из ионов и связанных с ними одного или нескольких –

Кислоты – это вещества, молекулы которых состоят из атомов и

Соли – это вещества, состоящие из ионов и Их можно также назвать продуктами замещения атомов водорода в на ионы

Конкурс II. Поиграйте в "крестики-нолики". Учащимся необходимо показать выигрышный путь, который составляют формулы: а) оксидов б) оснований в) кислот г) солей.

Конкурс III. "Третий лишний". Среди каждой тройки веществ учащимся следует найти вещество, отличающееся от двух других. Указать признак отличия. 1) Fe(OH)₂, NaOH, Cu(OH)₂ 2) HNO₃, H₂SO₄, HCl 3) CaO, SO₂, BaO 4) H₂SO₄, HNO₃, H₂CO₃.

Конкурс IV. "Экспертиза". При помощи одного индикатора учащиеся экспериментальным опытом доказывают в каких пробирках содержатся растворы: гидроксида натрия, воды, серной кислоты.

Конкурс V. " Рассыпанные формулы". Из цифр и химических знаков, находящихся в конверте, учащиеся должны сложить формулы оксида, основания, кислоты, соли.

Конкурс VI. Восстановите формулы веществ. Учащиеся дописывают вместо многоточий формулы веществ в уравнениях реакций.

1. $2\text{Fe}(\text{OH})_3 = \text{:::} + \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{:::} = \text{BaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
3. $\text{:::} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
4. $\text{::} + \text{CuSO}_4 = \text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$
5. $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{:::} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Конкурс VII. " Блиц". Командам выдают карточки с цифрами 1,2,3. Ответы на вопросы ученики дают, поднимая карточки с соответствующей цифрой. Какое из перечисленных утверждений не характерно для оксидов щелочных металлов?

1. Растворяются в воде; 2. взаимодействуют с основаниями; 3. взаимодействуют с кислотными оксидами.

2. В какой паре вещества не могут реагировать между собой?

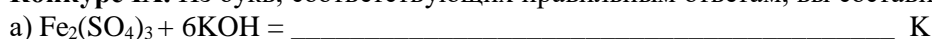
а. оксид серы (IV) и вода; б. оксид фосфора (V) и серная кислота; в. оксид кальция и углекислый газ.

3. Какое из перечисленных взаимодействий не характерно для основных оксидов?

а. с кислотами; б. с основаниями; в. с кислотными оксидами.

Конкурс VIII. "Кто быстрее". Даны вещества: Zn, Cu, SO₂, CuO, NaOH, BaCl₂, H₂SO₄. Какие из них будут взаимодействовать между собой. Составить за одну минуту как можно больше уравнений.

Конкурс IX. Из букв, соответствующих правильным ответам, вы составите название металла:



Таким образом, использование игровых технологий на уроке химии, способствует развитию познавательных интересов обучающихся, так как игра развивает интеллектуальные способности каждого учащегося, воспитывает познавательную активность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Maciejowska, I. Students–be active! outlines of chemistry lessons at secondary school [Text] / I. Maciejowska, E. Odrowaź // Natural Science Education–Gamtamokslinis Ugdyimas. – 2008. – Vol. 22. – No. 2. – P. 30-37.
2. Orlik, Y. The game “young scientists “as active science educational tool for extra-curricular work in the school [Text] / Y. Orlik, E. Gil, L.C. Hernández // Natural Science Education. – 2005. – Vol. 3. – No. 14. – P. 47-50.
3. Алексеева, В.Е. Игра как фактор развития познавательной активности [Текст] / В.Е. Алексеева // Химия в школе. – 2007. – №. 7. – С. 31–33.
4. Васильева, Т.К. Тематические познавательные игры [Текст] / Т.К. Васильева // Химия в школе. – 2005. – №. 7. – С.16–17.
5. Ионова, Ж.Ю. Дидактические игры на начальном этапе обучения [Текст] / Ж.Ю. Ионова // Химия в школе. – 2006. – №. 10. – С. 48–52.
6. Нечитайлова, Е.В. Об использовании web-квестов в процессе обучения [Текст] / Е.В. Нечитайлова // Химия в школе. – 2007. – №. 3. – С. 26–29.
7. Имедеева, Т.В. Интеллектуальная игра «Химия и здоровье» [Текст] / Т.В. Имедеева // Химия в школе. – 2007. – №. 5. – С. 71–73.
8. Ячменцева, Н.М. Химическая игра «Ваш ход» [Текст] / Н.М. Ячменцева // Химия в школе. – 2007. – №. 9. – С. 79–80.

ТОНКОСЛОЙНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ПО ХИМИИ

Никифорова Е.А., Нахова Н.А.

СВФУ, Якутск, Россия

nikimail64@gmail.com

“THIN-LAYER CHROMATOGRAPHY IN THE STUDY OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN CHEMISTRY”

Впервые в нашей стране по методике преподавания химии метод тонкослойной хроматографии введен и широко применен в общеобразовательной школе под руководством доктора химических наук Нифантьева Э.А. еще в советские годы для организации и проведения факультативных занятий [1].

В современных условиях согласно ФГОС для профильных классов по химии биологически активные вещества (БАВ) изучаются в разделе «Химия и жизнь». От обучающихся требуется использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности и в повседневной жизни. По учебному плану на изучение данной темы уделяется достаточное количество часов, в том числе за счет элективных курсов и проектно-исследовательской деятельности. Однако на практике изучение биологически активных веществ, химия и здоровье, проблемы, связанные с применением лекарственных препаратов, сложно дается обучающимся по нескольким причинам: сложные формулы БАВ, существование различных классификаций по строению, по применению, по нахождению в природе, отсутствие практических занятий и т. д.

В условиях Республики Саха (Якутия) большую помощь учителя химии получают в СВФУ имени М.К.Аммосова, где открыта специальная лаборатория для работы с обучающимися по проектно-исследовательской проектной работе. В данной лаборатории проводятся основные физико-химические методы анализа веществ, такие как качественный анализ, все виды титрования, спектрофотометрия, рН-метрия, а также бумажная, тонкослойная и колоночная хроматография и другие. Кроме того, по специальности 44.03.01 Педагогическое образование, профиль «Химия» в учебный план включены дисциплины: физико-химические методы анализа веществ, методы исследовательской и проектной деятельности, проектные и исследовательские работы учащихся по химии, техника и методика школьного химического эксперимента, профильное обучение на современном этапе. В этих дисциплинах изучают методику проведения проектно-исследовательских работ с обучающимися, где одно из важных мест занимает применение тонкослойной хроматографии в условиях кабинета химии, именно для реализации поставленных ФГОС задач по проектно-исследовательской деятельности. Исходя из вышеизложенного в данной статье остановимся на самом доступном, экономичном методе анализа как восходящая тонкослойная хроматография.

Как известно впервые этот метод был разработан в 1903-1906гг. русским ботаником М.С. Цветом для разделения растительных пигментов. В настоящее время с помощью хроматографии можно провести не только разделение смеси компонентов, но и идентификацию отдельных веществ, очистку вещества от примесей, количественный анализ. Главные преимущества хроматографического метода анализа заключаются в следующем: 1) быстрота анализа; 2) простота проведения анализа; 3) наибольшая чувствительность; 4) достаточная четкость разделения смеси; 5) универсальность исследуемых веществ; 6) использование малого количества веществ. В работах учителей-методистов можно найти анализ на тонком слое аминокислот, сахаров, кислот, витаминов и т.д. Но методика применение этого метода в условиях кабинета химии требует еще доработок с точки зрения не только организации и материального обеспечения, но и влияние метода на химические (предметные) и метапредметные знания и умения обучающихся [2].

Многолетний опыт работы показывает, что школьники намного быстрее обучаются в постановке и проведении тонкослойной хроматографии (ТСХ), так как у них хорошо развита моторика рук, хорошее зрение, ловкость рук, что способствует быстрому освоению техники ТСХ, формированию практических знаний и умений по химическому эксперименту. Наибольшее внимания требует процесс развития и формирования понятий о биологически активных веществах по химии, связи теоретического содержания школьного курса химии и экспериментальных знаний и умений.

С целью развития и закрепления знаний о БАВ в условиях школьной лаборатории со старшеклассниками можно провести качественные реакции на тонком слое для обнаружения углеводов, аминокислот, жиров, органических кислот, других биологически активных веществ и др. Специфическим условием проведения восходящей хроматографии является правильный расчет времени. Период времени пока поднимается растворитель по хроматограмме длиной 10см составляет от 15 до 30 минут в зависимости от системы растворителей, температуры. Это время правильно должно быть использовано преподавателем для объяснения и закрепления теоретических знаний о БАВ. Проведение качественных реакций органических соединений с использованием ТСХ также увлекательно, красочно и интересно несмотря на то, что многие методисты отмечают невзрачность реакций по органической химии. Например, фиолетовый цвет при обнаружении фенольных соединений раствором хлорида железа (III), красные и оранжевые пятна аминокислот с помощью раствора нингидрина, оранжевые алкалоиды – реактивом Драгендорфа, свечение флаваноидов под действием ультрафиолетового цвета, синее окрашивание жиров фосфорно-молибденовой кислотой, розовая окраска сапонинов и их гликозидов, черная окраска углеводов концентрированной серной кислотой и т. д.

В теоретическом плане обучающиеся знакомятся с такими БАВ, как алкалоиды, сапонины, кумарины, дубильные вещества, флаваноиды, эфирные масла, витамины. При этом происходит не только расширение, но и углубление знаний и умений обучающихся профильного уровня, также они постигают другой уровень знаний, начинают понимать, что изучаемые по органической химии вещества реально встречаются в жизни, быту и в производстве, что эти вещества можно обнаруживать, определять, и что они входят в состав определенных тел, то есть практическое их значение. Расширяются, например, знания о карбоновых кислотах, жирах, углубляются знания с помощью формирования большого количества новых понятий, таких как «агликон», «гликозиды», «пятичленные циклы», «гетероциклические соединения», «лактонное кольцо» и др.

Особое значение для изучения БАВ имеет идентификация веществ, проверка чистоты и даже разделение смеси веществ методом ТСХ. Если обучающиеся знают свою работу, понимают цель и

задачи своего исследования, то вполне самостоятельно применяют данный метод анализа и происходит постепенный переход знания о качественных реакциях органических соединений на знания строения и свойства БАВ. Например, для идентификации веществ, содержащихся в экстрактах растений, используются лекарственные препараты, содержащие эти же вещества. Обучающиеся реально видят эти одинаковые пятна в разных пробах. Такая деятельность обучающихся имеет не только познавательное, но и исследовательское, творческое значение, что запоминается на всю жизнь и может быть основой для понимания сложного строения биологически активных веществ.

Исходя из вышеизложенного БАВ можно изучать в три этапа. 1 этап (ознакомительный) начинается во время проведения темы «Химия и жизнь» (3ч), когда, наглядно используя метод тонкослойной хроматографии, качественно можно определять жиры, углеводы и аминокислоты. Во 2 этапе (основной) наиболее углубленно их изучают при проведении элективного курса «Биологически активные вещества», рассчитанный на 16 часов. На 3 этапе (творческий) обучающиеся используют знания о БАВ при выполнении проектно-исследовательской работы, часы которых также входят в учебный план классов профильного уровня.

Применение тонкослойной хроматографии в школьном курсе химии требует определенной материально-технической базы школьного кабинета химии, а также подготовки учителя химии. Несмотря на некоторые сложности организации и проведении ТСХ в условиях кабинета химии, такой химический эксперимент имеет большое значение в развитии не только для закрепления теоретических знаний, но и экспериментальных знаний и умений, развитие самостоятельности и творчества обучающихся путем сознательной и активной практической деятельности. В дальнейшем знания о БАВ дают возможность обучающимся профильного уровня определиться в выборе будущей профессии.

Таким образом применение тонкослойной хроматографии при изучении биологически активных веществ позволяет реализовать следующие принципы обучения: наглядности в учебном процессе, необходимости практических экспериментов, точности проведения химических опытов, прочности усвоения знаний и умений, связи теории с практикой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Нифантьев, Э.Е. Внеклассная работа по химии с использованием хроматографии [Текст] / Э.Е. Нифантьев, М.К. Верзилина, О.С. Котлярова. – М.: просвещение. – 1983. – Т. 143. – С. 74.
2. Нахова, Н.А. Химический эксперимент как средство подготовки будущих учителей химии к педагогической деятельности [Текст] / Н.А. Нахова // Сб. ст. НПК Обеспечение качества профессионального образования в СВФУ: Опыт и приоритеты. – Якутск. –2023.

ИНТЕГРАТИВНЫЕ УЧЕБНЫЕ ЗАДАНИЯ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ В СТАРШЕЙ ШКОЛЕ

Архипова Е.Е.

МБОУ Намская улусная гимназия, Россия

I3katrin02@rambler.ru

**“INTEGRATIVE TECHNICAL TASKS AS A MEANS OF INCREASING THE EFFECTIVENESS OF
TEACHING CHEMISTRY IN HIGH SCHOOL”**

Современное школьное химическое образование направлено на общекультурную подготовку учащихся, необходимую для приобретения ими ориентировочного мировоззрения, успешной интеграции в социальную жизнь и продолжения образования в различных областях. Основными задачами современного школьного химического образования являются: формирование системы химических знаний как важнейшего компонента естественнонаучной картины мира; формирование и развитие представлений о способах научного познания химических реакций, протекающих в веществе и окружающем мире; развитие навыков и приемов химического эксперимента.

Особое внимание уделяется содержанию химического образования с точки зрения функциональной грамотности, т.е. практической составляющей, заключающейся в формировании у выпускников не простого набора знаний, а методов и навыков активного приобретения знаний и применения их в реальных жизненных ситуациях для решения практических задач. Одной из её основных составляющих является естественнонаучная грамотность как важнейшая характеристика школьного образования.

Функциональная грамотность – это уровень образования, характеризующийся способностью решать стандартные жизненные задачи в различных сферах жизнедеятельности, опираясь преимущественно на прикладные знания. Естественнонаучная грамотность является одним из аспектов функциональной грамотности.

Естественнонаучная грамотность – это способность использовать научные знания для выявления проблем и формулирования обоснованных выводов, необходимых для понимания и оценки окружающего нас мира и тех изменений, которые оказывает на него деятельность человека.

В образовательном процессе в области естественных наук задача развития функциональной грамотности учащихся должна быть реализована в плане формирования у них умения решать задачи и самостоятельно применять знания в новых ситуациях. Решение этой задачи позволяет сформировать химическую, коммуникативную и интеллектуальную компетенции, использует различные формы работы учащихся – индивидуальную, парную и групповую. Делает обучение более содержательным и интересным для учащихся и учителя, способствует саморазвитию личности в процессе обучения.

В связи с этим в старших классах средней школы может быть повышена роль предметов, граничащих с другими дисциплинами, в частности химии, биологии, географии и физики, для выработки эффективных путей и способов решения жизненно важных для человека проблем и вопросов, таких как охрана окружающей среды, здоровья и агроэкология. В этом случае хороших результатов можно добиться, используя интегративные задания. Их характерной особенностью является интеграция знаний и умений из разных наук, разных дисциплин, тем и проблем и их объединение для решения одного вопроса или проблемы, для познания одного объекта или предмета. Как правило, интегративные задания разрабатываются как междисциплинарные, межцикловые или связывающие теорию с личным опытом обучающихся.

При использовании интегративного подхода в химическом образовании необходимо разработать конкретную программу обучения, позволяющей интегрировать планируемые результаты через межпредметные и внутрипредметные связи.

По данным международных исследований о оценке образовательных достижений и аналитического отчета Федерального института педагогических исследований России, обучающиеся испытывают трудности в выполнении практико-ориентированных заданий и применении теоретических знаний к решению практических задач.

Результаты международных исследований подтверждаются практикой обучения химии в школах Республики Саха (Якутия). Знания, получаемые на уроках химии, зачастую носят формальный характер. Для большинства старшеклассников химическая теория, химические задачи и химический эксперимент остаются в рамках уроков химии. Использовать знания по химии для объяснения химических производств, экологических проблем или бытовых явлений очень сложно.

Актуальность нашего исследования объясняется тем, что проблема повышения эффективности обучения химии путем использования интегративных заданий, формирующих естественнонаучную грамотность, изучена мало. Не существует готовых интегративных учебных заданий для уроков химии, методических рекомендаций по использованию интегративных заданий в условиях школ Республики Саха (Якутия). Связи с этим, целью данного исследования является – разработка методики использования интегративных задач для уроков химии, способствующей формированию естественнонаучной грамотности обучающихся как основного показателя качества преподавания химии в старшей школе.

Задачи:

- 1) проанализировать методические требования к интегративным заданиям, формирующим естественнонаучную грамотность старшеклассников в обучении химии;
- 2) выявить способы использования интегративных заданий для уроков химии в старшей школе.
- 3) апробировать эффективность разработанной методики и интегративных заданий на уроках химии в старшей школе.

Предмет исследования: методика использования интегративных заданий для повышения эффективности обучения химии в старшей школе.

Объект исследования: процесс обучения химии в старшей школе.

По плану педагогического исследования на констатирующем этапе запланирован эксперимент по выявлению сформированности естественнонаучной грамотности у старшеклассников МБОУ «Намская улусная гимназия им. Н.С. Охлопкова» Республики Саха (Якутия). Разработаны примеры проверочных заданий, оценивающих компетенции естественнонаучной грамотности.

Пример заданий:

Пластиковые бутылки: польза или вред?

ПЭТ-бутылки сегодня используются не только производителями напитков, но и косметическими и парфюмерными заводами. Производители технических жидкостей также используют ПЭТ-тару для своей продукции. ПЭТ-бутылки имеют значительные преимущества перед другой тарой. Пластиковые бутылки заметно легче изделий из других материалов. Также ПЭТ-бутылки обладают естественной прозрачностью, что придает продукции привлекательный внешний вид. В отличие от стеклянных изделий пластиковые бутылки менее подвержены повреждениям при транспортировке. Несомненным преимуществом пластиковых бутылок является то, что в них можно разливать любые напитки и использовать любые дизайнерские решения. Кроме того, пластиковые бутылки полностью перерабатываются и могут быть использованы повторно. Однако есть и некоторые недостатки. Пластиковая тара пропускает внутрь ультрафиолетовые лучи, что значительно сокращает срок хранения некоторых видов бутилированной продукции. В таких емкостях может содержаться химическое вещество бисфенол А, способное проникать в воду, жидкости и в организм человека. Пластиковая тара также наносит необратимый ущерб окружающей среде, поскольку период разложения пластика составляет от 500 до 1000 лет. Мы каждый день покупаем продукты и напитки в пластиковой таре и даже не задумываемся о влиянии пластика на окружающую среду.

Какие меры можно предпринять, чтобы уменьшить негативное воздействие пластиковых бутылок на экологическое состояние нашей планеты? Приведите примеры.

Гипотеза исследования: Эффективность обучения химии в старшей школе можно повысить, если:

- 1) выявить условия формирования естественнонаучной грамотности с помощью интегративных заданий;
- 2) выявить требований к интегративным заданиям;
- 3) определить способы использования интегративных заданий на уроках химии в старшей школе.

Выводы:

1. Интегративные задания направлены на проверку навыков, характеризующих естественнонаучную грамотность, но при этом основываются на ситуациях, которые близки к реальным.
2. Используемые приемы возможно сочетать с технологиями развивающего обучения, проблемной технологии и другими.
3. Интегративный подход в образовании дает учащимся знания, отражающие связи между отдельными частями мира и учит их воспринимать информацию. Интеграция в образовании позволяет учащимся реализовывать развивающие функции, необходимые для всестороннего и целостного развития их личности, развития их интересов, мотивов и познавательных потребностей.
4. Разрабатывается методика использования интегративных заданий на уроках химии в старшей школе.

КРУЖОК «УВЛЕКАТЕЛЬНАЯ ХИМИЯ» КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА ОБУЧАЮЩИХСЯ

Максимова С.В., Аржакова М.И.

СВФУ, Якутск, Россия

sayonaro97@mail.ru

“CIRCLE “FASCINATING CHEMISTRY” AS THE BASIS FOR FORMING COGNITIVE INTEREST
OF STUDENTS”

Для дидактики вопрос развития познавательных потребностей, является основой активизации познавательной деятельности. Исходя из библиографического мониторинга, осуществленного в данном направлении, следует, что имеется устойчивый исследовательский интерес к ней. При этом необходимым компонентом развития познавательной деятельности у обучающихся, ученые педагоги называют воспитание познавательного интереса, который должен обеспечить систематическую активность учащихся при накоплении ими фонда знаний и обретении интеллектуальных умений. Выделим те, которые, по нашему мнению, наиболее ярко и точно выделяют сущность расхождения мнений по данному вопросу. Познавательный интерес — эмоциональное состояние, связанное с осуществлением познавательной деятельности и характеризующееся побудительностью этой деятельности [1]. Познавательный интерес — это не что иное, как активная познавательная направленность, сопровождающаяся желанием ребенка узнавать, что — то новое, положительным эмоциями при достижении успеха и отсутствием боязни перед возникающими сложностями, что в совокупности очень важно для развития гармоничной личности [2]. Познавательный интерес — мотив,

который действует в силу своей осознанной значимости и эмоциональной привлекательности (С. Л. Рубинштейн) [3].

Важно отметить научные взгляды Н. Г. Морозовой, которая указывает на значение эмоциональной стороны в познавательном интересе, а именно на то, что интерес является отношением эмоционально-познавательным, переходящим при благоприятных условиях в эмоционально-познавательную направленность личности [4].

Как показали исследования данного автора, роль интересов сводится к следующему:

- интересы благоприятствуют глубине и прочности знаний;
- развивают и повышают качество мыслительной деятельности;
- оказывают значительное влияние на формирование личности ребенка: определяют его активность в умении, способствуют формированию способностей, воспитывают изобретательный подход к разнообразным видам деятельности;
- ведут к повышению общего эмоционального тонуса, создавая положительный эмоциональный фон для протекания всех психических процессов.

Именно Г. И. Шукиной была представлена наиболее отчётливая структура познавательного интереса. С её точки зрения, познавательный интерес состоит из следующих компонентов [5]:

- Интеллектуальный компонент — выражающийся в направленности на познание объекта, стремлении постичь его сущность.
- Эмоциональный компонент — проявляющийся в положительном эмоциональном отношении к объекту.
- Волевой компонент — рассматривающийся как степень сосредоточенности на данном объекте, применении усилий для достижения поставленной цели и отражающийся в устойчивости интереса.

Таким образом, интерес — сложное и неоднородное понятие, имеющее интерпретации в различных областях психолого-педагогической науки.

Несмотря на то, что учёными многогранно освещены вопросы о его структуре, видах, стадиях развития, эта проблема ещё долгое время будет объектом пристального внимания. На сегодняшний день познавательный интерес всё шире исследуется в контексте разнообразной деятельности воспитанников, что позволяет творчески работающим педагогам успешно формировать и развивать интересы детей, обогащая личность, воспитывая активное отношение к жизни.

Для приобретения педагогического опыта и формирования познавательного интереса у школьников нами был проведен педагогический эксперимент в виде кружка «Увлекательная химия» среди обучающихся 7-8 классов на базе летнего лагеря «Чэчир» в селе Магарас, Горного улуса.

Этапы педагогического эксперимента:

1. Констатирующий этап, в ходе которого выявила уровень сформированности познавательного интереса учащихся к учебному предмету «Химия»;
2. Обучающий этап, в ходе которого проводились занятия по кружку «Увлекательная химия» для формирования познавательного интереса обучающихся 7-8 классов;
3. Контролирующий этап, в ходе которого проводилась проверка эффективности кружка «Увлекательная химия», как средства формирования познавательного интереса.

В констатирующем этапе было проведено анкетирование среди обучающихся 7-8 классов для определения уровня познавательного интереса к кружку «Увлекательная Химия». По результатам анкетирования выделяются три уровня.

Высокий уровень – от 6 баллов: высокая познавательная активность; увлеченный процесс самостоятельной деятельности, стремление к преодолению трудностей.

Средний уровень – от 4 баллов: познавательная активность, требующая побуждений учителя; зависимость самостоятельной деятельности от ситуации; преодоление трудностей с помощью других, ожидание помощи.

Низкий уровень – от 2 баллов: познавательная инертность; мнимая самостоятельность действий; полная бездеятельность при затруднениях.

Анализ ответов обучающихся показал, что уровень сформированности познавательного интереса в обоих классах, приблизительно одинаков. В целом преобладает средний уровень.

После определения уровня познавательного интереса проводился обучающий этап, который включал в себя теоретические и практические работы. Были использованы разные формы организации занятия: игровые, групповые и парные работы. Также в обучении использовались разнообразные методы обучения, такие как: объяснительно – иллюстративный, словесно – наглядный, поисково – исследовательский.

Темы проведенных занятий в лагере «Чэчир»

1. Вводное занятие (анкетирование, тестирование). Ознакомление, с кабинетом химии и повторения правил ТБ. Игра по технике безопасности.
2. Химическая реакции вокруг нас (Роль химии в жизни человека и жизнедеятельности человека).
3. Химия в природе (Химические явления в природе).
4. Химия и пища (Исследование состава и свойств шоколада).
5. Химия в сельском хозяйстве.
6. Увлекательная химия для экспериментаторов (получение растительных индикаторов).

Контролирующий этап педагогического эксперимента. Основной целью контролирующего этапа эксперимента стало определение эффективности, предложенной нами методики использования кружка «Увлекательная химия» как основа формирования познавательного интереса обучающихся 7-8 классов.

На контролирующем этапе было проведено повторное анкетирование.

Проанализировав результаты повторного анкетирования, выявили следующие результаты: что обучающиеся с высоким уровнем познавательного интереса, увеличилось; со средним уровнем также увеличилось, но с низким уровнем уменьшилось.

По результатам анкетирования, показало, что уровень познавательного интереса у обучающихся повысился, стало больше учеников с высоким уровнем познавательного интереса.

Также следует отметить, что на последний занятиях, учащиеся стали работать активнее, чаще стали задавать вопросы. Это позволяет нам понять, что у обучающихся сформировался устойчивый познавательный интерес. К сожалению, некоторые школьники не проявили большой интерес и остались на уровне любопытства и любознательности.

Таким образом, процесс повышения познавательного интереса, является длительным и сложным. В связи с этим необходимо использовать эффективные методы обучения и исходя из нашего исследования, можем сделать вывод, что организация кружка «Увлекательная химия» для обучающихся 7-8 классов, способствует формированию познавательного интереса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Слостенин, В.А. Педагогика [Текст] / В.А. Слостенин. – М.: Академия, 2010. – 576 с.
2. Соловьева, К.В. Современные подходы к формированию познавательного интереса у учащихся начальной школы [Текст] / К.В. Соловьева // Научное сообщество студентов Сборник материалов XV Международной студенческой научно-практической конференции. Редколлегия: – 2017. – С. 64-67
3. Рубинштейн, С.Л. Основы общей психологии [Текст] / С.Л. Рубинштейн. – М.: Питер, 2002. – С. 720
4. Морозова Н.Г. Учителю о познавательном интересе. – М.: Знание, 2009 – 246 с.
5. Щукина, Г.И. Педагогические проблемы формирования познавательных интересов учащихся [Текст] / Г.И. Щукина – М.: Педагогика, 2007. – 208 с.

РАЗРАБОТКА ЗАДАНИЙ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ХИМИИ С РЕГИОНАЛЬНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ НА ОСНОВЕ МЕЖПРЕДМЕТНОЙ СВЯЗИ ХИМИИ И ГЕОГРАФИИ (НА ПРИМЕРЕ РАЗДЕЛА «МЕТАЛЛЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ», 9 КЛАСС)

Эверстов А.И.

СВФУ, Якутск, Россия

aleverstov@mail.ru

“DEVELOPMENT OF TASKS TO ACHIEVE NATURAL SCIENTIFIC LITERACY OF CHEMISTRY STUDENTS WITH REGIONAL CONTENT BASED ON THE INTER-SUBJECT CONNECTION OF CHEMISTRY AND GEOGRAPHY (BASED ON THE EXAMPLE OF THE SECTION “METALS AND THEIR COMPOUNDS”, 9th GRADE)”

Важной составной частью школьного образования становится формирование функциональной, в том числе естественнонаучной грамотности обучающихся, которое выражается, в первую очередь, в формировании тех умений и навыков, которые понадобятся учащимся в различных ситуациях, сходных с реальной жизнью. Вместе с тем, достижение естественнонаучной грамотности по учебному предмету «Химия» возможен с учетом межпредметной связи с другими естественнонаучными дисциплинами, в том числе и географии.

Как известно, естественнонаучная грамотность – это способность человека занимать активную гражданскую позицию по общественно значимым вопросам, связанным с естественными науками, и его готовность интересоваться естественнонаучными идеями.

Естественно-научно грамотный человек стремится участвовать в аргументированном обсуждении проблем, относящихся к естественным наукам и технологиям, что требует от него следующих компетентностей:

- научно объяснять явления;
- понимать основные особенности естественнонаучного исследования;
- интерпретировать данные и использовать научные доказательства для получения выводов.

Исходя из вышеизложенного вытекают, что задания, которые направлены на оценку естественнонаучной грамотности должны быть ориентированы на выше представленные компетентности и содержание которых должны основываться на реальных жизненных ситуациях. Именно такие задания, объединенные в тематические блоки, составляют измерительный инструмент PISA. Типичный блок заданий включает в себя описание реальной ситуации, представленное, как правило, в проблемном ключе, и ряд вопросов-заданий, связанных с этой ситуацией.

В наиболее общем виде модель задания по оценке ЕНГ можно представить в виде следующей схемы:



Анализ содержания школьных курсов химии и географии показал, что наиболее подходящим разделом, с точки зрения межпредметной связи и реализации идеи достижения естественнонаучной грамотности в обучении химии является раздел «Металлы и их соединения» в 9 классе.

Таблица 1 – Межпредметная связь школьного курса химии и географии

Раздел химии	Раздел географии
8 класс	
Кислород	- Атмосфера (строение атмосферы, состав воздуха, охрана атмосферы)
Растворы. Вода	- Гидросфера (состав и строение гидросферы, мировой круговорот воды в природе, солёность воды, гидрохимия, охрана гидросферы)
9 класс	
Серная кислота	- Химическая промышленность России (центры производства кислот)
Минеральные удобрения	- Почва – особое природное тело - Химическая промышленность России (центры производства минеральных удобрений)
Металлы и их соединения	- Литосфера (строение и состав земной коры, горные породы, минералы и полезные ископаемые, геохимия) - Горнодобывающая промышленность (месторождения металлов России и Якутии) - Черная и цветная металлургия (особенности металлургического комплекса, типы предприятий в черной и цветной металлургии, центры черной и цветной металлургии России и особенности их размещения);
Краткий обзор важнейших органических веществ	Топливо-энергетический комплекс России. Угольная промышленность. Нефтяная промышленность. Газовая промышленность. Химическая промышленность

Разработка конкретных заданий основывается на следующих дидактических принципах как научности, систематичности, доступности и региональности. Ниже представлены примеры практикоориентированных заданий, позволяющие достижение компетенций естественнонаучной грамотности.

Задание 1. Золотоносная республика

Якутия – один из самых богатых полезными ископаемыми регион России. Среди них особо выделяются крупные месторождения золота. Золото – мягкий, блестящий, желтый металл. Широкое применение оно получило при изготовлении ювелирных изделий, монет и в стоматологии. Кроме того, золото расходуется в производстве современной космической и военной техники. В одном самолете-истребителе золота более полкилограмма. Золото, кроме галогенов, не реагирует с неметаллами даже при нагревании. Кислоты: соляная, азотная, серная – на золото не действуют. Оно растворяется только в «царской водке» и селеновой кислоте.

1. Расставьте коэффициенты в уравнении реакции золота с «царской водкой», используя метод электронного баланса:



2. Составьте уравнение реакции золота с селеновой кислотой H_2SeO_4 , расставьте коэффициенты методом электронного баланса;

3. Определите количество вещества золота и серебра, которое содержится в обручальном кольце, произведенном ювелирной компанией «Киэргэ», массой 3,75 г и пробой 585;

4. Вспомните из курса географии крупные месторождения золота в Якутии. На территории каких улусов они расположены?

Задание 2. О «прочном и стойком»

Якутия – лидер среди всех регионов России по запасам и добыче олова, второй производитель этого металла в мире после Китая! Олово – мягкий, легкоплавкий серебристо-белый металл. Он известен человеку еще с доисторических времен, его сплав с медью – бронза. Широкое применение олово получило в производстве органических красок, для уничтожения вредителей в сельском хозяйстве, в производстве лекарственных препаратов, консервных банок.

1. Осуществите цепочку реакций с участием олова по следующей схеме: олова → хлорид олова (II) → гидроксохлорид олова (II) → гидроксид олова (II) → нитрат олова (II)

2. Литейному заводу поручили изготовить бронзовые медали для призёров Игр Манчаары. Бронза состоит на 80% из меди и на 20% из олова. Какие массы металлов нужно взять для получения 20 кг бронзы?

3. На территории якутской Арктики планируется создание Кючусского горнопромышленного кластера, включающий оловянные месторождения Депутатское и Тирехтях. На территории какого улуса они расположены?

Таким образом, такой подход к отбору заданий при изучении раздела «Металлы и их соединения» позволит достичь естественнонаучную грамотность по химии.

Научный руководитель – д.п.н, профессор Егорова К.Е.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пентин, А.Ю. Состояние естественнонаучного образования в российской школе по результатам международных исследований TIMSS и PISA [Текст] / А.Ю. Пентин, Г.С. Ковалева, Е.И. Давыдова [и др.] // Вопросы образования. – 2018. – №. 1. – С. 79-109.
2. Федорова, В.Н. Межпредметные связи естественнонаучных и математических дисциплин [Текст] / В.Н. Федорова // Межпредметные связи естественнонаучных дисциплин. Пособие для учителей. Сб. Статей / Под ред. ВН Федоровой. – М.: Просвещение. – 1980.

НАУЧНЫЙ МЕТОД ПОЗНАНИЯ В ОБУЧЕНИИ ХИМИИ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ОСНОВНОЙ ШКОЛЫ

Новгородов Е.Н., Матаннанова А.Н.

СВФУ, Якутск, Россия

“SCIENTIFIC METHOD OF COGNITION IN TEACHING CHEMISTRY AS THE BASIS FOR FORMING NATURAL SCIENCE LITERACY OF BASIC SCHOOL STUDENTS”

Содержание базового изучения химии в основной школе ориентировано на обеспечение общеобразовательной и общекультурной подготовки выпускников. Химия вместе с биологией и физикой формируют у школьников естественнонаучную грамотность как интегративный результат обучения. Они охватывают широкий спектр знаний о разнообразных свойствах и способах изучения объектов природы, которые можно рассматривать как единое целое.

В международной практике образования естественнонаучная грамотность рассматривают как способность обучающихся осваивать и использовать естественнонаучные знания для распознавания и постановки вопросов, освоения новых знаний, объяснения естественнонаучных явлений, разрешения проблем с помощью научных методов, получения выводов, основанных на наблюдениях и экспериментах (PISA – 2012).

Компетентность естественнонаучно грамотного выпускника предполагает овладение тремя основными компетенциями: научно объяснять явления, понимать основные особенности естественнонаучного исследования и интерпретировать данные и использовать научные доказательства для получения выводов.

Одним из основных методических подходов к формированию естественнонаучной грамотности у школьников является использование научного метода познания. Суть методики преподавания, опирающийся на научный метод, состоит, в том, что ориентировочная основа деятельности учащихся при изучении естественнонаучных предметов может состоять в реализации так называемого «цикла научного познания», который фактически является дидактической интерпретацией научного метода познания.

Метод научного познания — это организация процесса получения знаний, отражающих законы развития природы и общества. Этот метод позволяет воспроизвести, проверить и передать полученные знания; он определяет способ организации средств познания для достижения научной истины; на его основе формируется система регулятивных принципов познавательной деятельности. Познавательная деятельность на основе научного метода познания обеспечивает школьникам возможность овладения умениями определять проблему, формулировать гипотезу для нахождения решения, планировать свои действия, проводить эксперименты, оценивать полученные результаты, представлять научные аргументы для обоснования своих выводов. Этапы организации деятельности школьника включают следующие действия.

1. Выяснение проблемы.
2. Выдвижение догадки-гипотезы в качестве решения проблемы.
3. Вывод из гипотезы следствий как предвидений.
4. Проведение эксперимента для проверки предвидений.

Владение учащимися знаниями о методах познания окружающей действительности и освоение исследовательских умений относится к «методологической культуре», определяемой как базовый компонент личностной культуры.

Как показывают исследования PISA, уровень сформированности естественнонаучной грамотности у российских школьников очень низкая. Это связано в основном с неумением использовать полученные знания в различных ситуациях, приближенных к реальной жизни. Это подтверждается и практикой обучения химии в школах Республики Саха (Якутия). Большинство школьников не умеют использовать полученные на уроках химии знания для объяснения простых явлений, для проведения простых наблюдений и исследований, бытовых или других проблем, связанных с деятельностью современного человека. Научный метод познания используется учителями в основном при организации исследовательских работ только отдельных школьников.

Результаты констатирующего эксперимента нашего педагогического исследования показали, что обучающиеся 1-Хомустахской СОШ не справляются с простыми бытовыми задачами. Например, не могут объяснить, почему серную кислоту разводят при использовании ее как электролита для аккумуляторов. Или, например, не знают, как подобрать подходящий растворитель для выведения пятен разного происхождения.

Проблема формирования естественнонаучной грамотности в современной школе, в том числе и при обучении химии, изучена недостаточно. Не разработаны методические и дидактические материалы, необходимые учителю для организации урочной и внеурочной деятельности обучающихся. Методическим вопросам формирования естественнонаучной грамотности путем использования

научного метода познания посвящается наше педагогическое исследование. Цель исследования-разработать методику использования научного метода познания на уроках химии для формирования естественнонаучной грамотности как способности использовать научные доказательства в объяснении естественнонаучных явлений.

Приведем пример урока химии в 8 классе.

Тему урока: Вода: обыкновенная и удивительная

«В воде была дана волшебная власть стать соком жизни на Земле»

Леонардо да Винчи

Цель урока: сформировать знания обучающихся о значении воды в природе и жизни человека, изучить особенные свойства воды и выяснить их причины, раскрыть планетарное и космическое значение воды.

Образовательные задачи/предметные результаты: знать особенности строения молекулы воды, особые свойства воды, значение воды в жизни человека и планеты.

Развивающие задачи/метапредметные результаты: уметь объяснять особые свойства воды, научиться строить цепь логических рассуждений на основе наблюдения выполненных опытов.

Воспитательные задачи/личностные результаты: сформировать ценностное отношение к воде – как к ценному биологическому ресурсу планетарного и космического масштаба, бережное отношение к водным объектам.

Тип урока: открытие новых знаний о воде, ее роли в жизни человека, планеты.

Методы обучения: элементы кейс-технологии, проблемного обучения, диалогового обучения, исследовательский метод, ролевой игры.

Форма: групповая (парная).

Принципы построения (в содержательном плане) урока: научности, доступности, наглядности, познавательной активности.

Подходы: личностно-ориентированный, деятельностный, компетентностный, интегративный.

Методические приемы: эвристические вопросы, вопросы-ситуации, проблемные вопросы, когнитивные приемы.

Актуализация темы: *Что удивительного в обыкновенной воде? Кто не знает воду? Разве кто-то не знает свойства воды?*

Давайте перечислим все ее свойства: бесцветна, без вкуса, без запаха, подвижная, летучая!

*Мы знаем для чего она нужна: для питья, стирки, для получения различных растворов, в промышленности, в отопительных системах, из воды получают самый экологичный вид топлива - H_2 !. Но, оказывается, вода – удивительное, уникальное химическое вещество! Вода должна быть газом при обычных условиях, ведь ее молярная масса всего 18 г/моль, когда у CO_2 – 44 г/моль; у сернистого газа – 64 г/моль. **В чем дело? Как все это объяснить?!***

Без воды, наша планета давно бы превратилась в кусок безжизненного камня, который, вращаясь миллиарды лет вокруг солнца, со временем бы превратился в космическую пыль.

70% поверхности Земли покрыта водой, воды много. Но, тогда почему 1 млрд населения планеты не доступна питьевая вода? Оказывается, только 3% всего объема воды относится к пресной питьевой воде! И, самое главное, только 1% пресной воды доступна человечеству.

Сегодня на уроке все выясним опытным путем, будем работать с учебным материалом, найдем ответы на поставленный вопрос.

Будем работать в группе. Каждая группа – это будет научная лаборатория, где происходит изучение конкретного объекта или явления. У нас 3 лаборатории. Ребята, представьте свою лабораторию и расскажите, над какой проблемой вы занимаетесь. (с места выступают, идет диалог, обсуждение).

Лаборатория изучения сверхпрочных материалов. Невидимая сверхпрочная пленка

Опыт 1. Почему вода не протекает через марлю?

Бинт из марли, похож на решето, через него легко принимает вода. Но когда мы перевернули стакан, между марлей и водой не осталось воздуха. Вода образует невидимую пленку – молекулы воды так сцеплены между собой водородными химическими связями (считай силами), закрывает все дырки, отверстия между волокнами бинта. Такое свойство воды – образовывать достаточно прочную пленку на поверхности, известно, как поверхностное натяжение, характерное для жидкостей. У воды самое большое поверхностное натяжение. Поэтому вода не выливается из бутылки.

Опыт 2. Почему вода не проливается через края стакана?

Здесь опять сказывается действие поверхностного натяжения воды

Лаборатория Глобальное планетарное климатическое явление **Управляет ли вода климатом Земли?**

Опыт 1. Почему вода нагревается медленно нагревается и медленно остывает?

Опыт 2. Почему полиэтиленовый пакет не сгорает? (температура пламени свыше 400°C (в самой верхней – 900°C , полиэтилен сгорает при температуре 280° – 300°C . Полиэтилен с водой не сгорает, потому что все тепло горелки уходит на нагревание воды.

Проведенные опыты доказывают, что вода действительно медленнее нагревается, чем другие вещества, это означает, что в себя вбирает много тепла, аккумулирует тепло в виде водородных связей, поэтому летом в приморских районах всегда прохладней, а зимой вода полученную летом тепло остывая отдает медленно, поэтому зима теплее, чем в континентальных районах, например, как у нас). Когда снег идет водородные химические связи разрушаются и освобождается тепло.

Научная лаборатория изучения Внеземных цивилизаций.

Роботы - космонавты передали с 3 далеких планет образцы неизвестных жидкостей.

Опыт 1. Изучение физических свойств жидкостей, определение pH среды жидкости (универсальной индикаторной бумагой).

Опыт 2. Действие жидкостей на безводный CuSO_4 с целью обнаружения воды – колыбели жизни.

Вода обнаружена только в образце №3, значит на этой планете вполне возможна жизнь, существование братьев по разуму. Ведь вода – колыбель жизни. Именно в теплой, малосоленой воде зародилась жизнь на нашей планете.

Все живые существа состоят из воды: животные – на 75%, рыбы – на 75%, человек – 70%. Вода доставляет питательные вещества к клеткам, выводит шлаки и токсины, участвует в дыхании и терморегуляции. От нее напрямую зависят наши умственные и физические достижения: при потере организмом 2% жидкости, эффективность работы мозга и общая выносливость снижаются на 20%, а при потере 20% воды человек умирает.

Выступление каждой группы

Рефлексия

Обобщение урока. Домашнее задание

Рефлексия

Я узнал (а), что вода

- 1) Самый распространенный минерал на Земле
- 2) Вода обладает уникальными свойствами
- 3) У воды большое поверхностное натяжение за счет водородных связей между молекулами
- 4) У воды высокая удельная теплоемкость, вода медленно нагревается, медленно остывает за счет водородных связей между молекулами
- 5) Вода управляет климатом Земли
- 6) Вода – колыбель жизни

Я научился (-лась)

- 1) Опытным путем обнаруживать поверхностное натяжение воды,
- 2) Опытным путем доказывать высокую удельную теплоемкость воды
- 3) Устанавливать причинно-следственные связи между уникальными свойствами воды и особой структурой воды
- 4) Опытным путем обнаруживать воду среди других веществ

Я понял (теперь понимаю)

- 1) Вода - уникальное вещество с удивительными свойствами
- 2) Вода - ценный природный ресурс, пресной питьевой воды очень
- 3) Водные ресурсы надо беречь, жизнь на нашей планете появилась только благодаря воде

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Научный метод познания является условием и основным методом в формировании естественнонаучной грамотности учащихся основной школы.
2. Научный метод познания в химии необходимо использовать в организации химического эксперимента.
3. При организации учебного процесса можно использовать эвристические способы обучения, проблемные вопросы, игровые формы обучения, учебные исследовательские и проектные работы в группах.

ДИАГНОСТИКА БАЗОВЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ ПОСРЕДСТВОМ ЗАДАНИЙ ЭЛЕКТИВНОГО КУРСА «КОМПОЗИТЫ МАТЕРИАЛЫ БУДУЩЕГО»

Гаврильев С.В.

СВФУ, Якутск, Россия

game-kollfee@mail.ru

“DIAGNOSTICS OF BASIC LOGICAL ACTIONS THROUGH ASSIGNMENTS OF THE ELECTIVE
COURSE “COMPOSITES MATERIALS OF THE FUTURE”

В статье представлены материалы педагогического исследования по формированию у школьников базовых логических действий на занятиях эл курса «Композиты – материалы будущего». Описывается анализ литературы о подходах к оцениванию баз логических действий и приведены примеры заданий для констатирующего эксперимента.

Ключевые слова: Базовые логические действия, композитные материалы, оценка метапредметных результатов.

В условиях возрастающего значения химии существенно повысилась роль школьного химического образования. В изучении химии направлением первостепенной значимости традиционно признаётся формирование основ химической науки как области современного естествознания, практической деятельности человека и как одного из компонентов мировой культуры.

Метапредметные результаты освоения учебного предмета «Химия» на уровне среднего общего образования включают междисциплинарные общенаучные понятия, универсальные учебные действия (познавательные, коммуникативные, регулятивные), обеспечивающие формирование функциональной грамотности и социальной компетенции обучающихся, и способность обучающихся использовать освоенные междисциплинарные, мировоззренческие знания и универсальные учебные действия в познавательной и социальной практике.

К универсальным учебным познавательным действиям относятся базовые логические действия, базовые исследовательские действия и приемы работы с информацией. Особое значение для воспитания самостоятельной и успешной личности ученика приобретают базовые логические действия. Для формирования базовых логических действий можно использовать элективные курсы, связанные с изучением композитных материалов. В настоящее время композиты обладают ведущей ролью во многих мировых промышленных отраслях. Их изучение и создание, развивает обширный спектр способностей человека.

На данный момент готовые элективные курсы по композитным материалам отсутствуют, так же нет методических материалов для учителей. В связи с этим, нужны исследования в данном направлении.

На настоящий момент нами изучена литература о композитных материалах и подходах к формированию у школьников метапредметных умений, в частности базовых логических действий. Следующим этапом педагогического исследования будет проведение констатирующего эксперимента в школе. Для этого изучили литературу о подходах к оцениванию баз логических действий и составили задания для проверочных работ.

Оценивание метапредметных результатов проводится исходя из требований к качеству усвоения межпредметных понятий и уровню сформированности УУД. При оценивании ответов, учащихся оцениваются такие критерии, как глубина изложения, осознанность и полнота. В свою очередь, оценивание результатов является составной частью системы оценки, которая основана на системно-деятельностном, уровневом и комплексном подходах к оценке учебных достижений.

Средствами измерения служат задания, построенные в рамках содержания курса. Таким образом нужно разобраться, по каким критериям и правилам нужно составлять диагностические задания в рамках проверки у учащихся, развитие их логических умений.

Для организации диагностики достижения метапредметных результатов важно определять типы задач, исходя из состава метапредметных результатов обучения и характера учебной деятельности школьника при изучении химии. Точнее всего подходят задания по узнаванию, воспроизведению отдельных фактов, чисел, понятий, норм, правил, законов. Кроме того, могут использоваться задачи, включающие измерения, вычисления, опыты, перечисления, классификации, выявление взаимоотношений. В условиях свободного оперирования школьниками межпредметных знаний, можно применять усложненные задания, требующие более сложных мыслительных операций.

Учитывая то, что учебные задания могут выступать в качестве критерия проверки знаний учащихся, так же они могут выступать измерителями достижения учащимся определенного уровня усвоения учебного материала. Изменение уровня знаний, умений и навыков учащегося отражается в изменении типов и трудности решаемых им учебных задач. Количество и типы решаемых задач служат

признаками сформированности определенных умений, а это, в свою очередь, - показателем достижения определенного уровня усвоения и соответствия требованиям ФГОС.

Для проведения оценки уровня развития у ученика его логических умений, следует не только создать дифференцированные по сложности задания, но и иметь критерии оценивания. В случае оценки логических действий как части метапредметных результатов, стоит выделить следующие критерии (умения учеников): анализировать и синтезировать, устанавливать причинно-следственные связи, классифицировать, устанавливать аналогии, давать определения понятиям, обобщать, сопоставлять, сравнивать, выделять существенные признаки.

Таким образом задания можно разделить на три уровня сложности: базовый, повышенный, высокий.

К базовому уровню относятся задачи, включающие в себя действия на распознавание, выведение следствий, выявление объектов по свойствам, применение алгоритмов в данных условиях. Данные задачи обычно используют для формирования понятий и умений, и первоначального контроля их усвоения.

Задачи повышенного уровня включают сравнение, сопоставление, классификацию и т.д. Их можно использовать для повторения, обобщения и текущей диагностики.

Задачи высокого уровня предназначены для изучения и отработки новых методов деятельности и должны использоваться для самостоятельной поисково-творческой работы в проектной или исследовательской деятельности.

Принципы, определяющие пути конструирования диагностических заданий:

1. Логический, структурный и дидактический анализ учебного материала.
2. Выделение контрольных точек (этапов диагностики) в соответствии с этапами овладения школьниками видами учебной деятельности.
3. Детализация учебной деятельности учащихся в виде соответствующих познавательных операций, действий, подлежащих текущей диагностике на каждом из выделенных этапов.
4. Отбор деятельностного содержания заданий для оперативной диагностики в соответствии с выделенными контрольными точками для каждого объекта.
5. Возможность и целесообразность сочетания различных форм получения информации, дополняющих общую картину усвоения знаний и умений каждым школьником

Требования к содержанию систем учебных заданий-измерителей

1. Соответствие целям обучения.
2. Отражение планируемых результатов обучения, конкретизированных в виде опознаваемых умений ученика в содержании заданий.
3. Возможность выявления уровня формируемых умений.
4. Наличие в содержании диагностических работ заданий, позволяющих учащимся продемонстрировать владение разными методами и приемами познания.
5. Учёт возрастных возможностей учащихся.
6. Включение в содержание всех видов учебной работы, с помощью которых формируются понятия, развивается мышление, отрабатываются умения и навыки.

Таким образом, на данном этапе педагогического исследования нами выполнен анализ литературы о композитных материалах и подходах к формированию и оцениванию базовых логических действий. На следующем этапе исследования будем работать на создание заданий для констатирующего эксперимента и разработкой программы эл курса, методики его проведения.

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ УЧЕБНЫЕ ДЕЙСТВИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ХИМИИ КАК ОСНОВА ДОСТИЖЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ

Егорова К.Е.¹, Обутова Л.М.²

¹СВФУ, Якутск, Россия, ²МБОУ «ВВССОШ им. Ю.Н. Прокопьева», Андреевский, Россия

liaobutova80@gmail.com

“INDEPENDENT EDUCATIONAL ACTIONS OF STUDENTS IN CHEMISTRY AS A BASIS FOR
ACHIEVING NATURAL SCIENCE LITERACY”

Мир вокруг нас меняется очень быстро, совершаются научные открытия, создаются инновационные технологии, появляется новая информация. В результате меняются и требования к системе образования. Достижения естественных наук и их влияние на жизнь людей должны быть отражены в структуре и содержании школьного естественнонаучного образования. Изучение химии, физики и биологии в области «Естественно-научные предметы» объединяет отдельные компоненты

функциональной грамотности в общее понятие естественнонаучной грамотности (далее ЕНГ). В настоящее время ЕНГ признан в качестве критерия оценки качества обучения в национальных системах образования и международных исследованиях (TIMSS, PISA). Как связующее звено между системами "человек-природа" и "человек-технология", он рассматривается как фактор развития культуры и конкурентоспособности страны, а также как одно из необходимых условий для создания информационно-технологического общества. Таким образом, приоритет химического образования в старшей школе заключается в том, чтобы дать возможность обучающимся достичь уровня образованности, соответствующего их личностному потенциалу, которое позволило бы им продолжить образование.

В последнее десятилетие все возрастающее влияние достижений в области естественных наук привело к тому, что в обществе широко распространилось представление о естественнонаучной грамотности (ЕНГ) как о неотъемлемой характеристике человека, необходимой для жизни в современном обществе. С другой стороны, в основных образовательных программах российских школ не сформулирована в явном виде цель формирования у обучающихся ЕНГ и оценки выпускников школы по этому стандарту. Но в то же время и ФГОС, и Концепции учебных предметов содержат практически все признаки естественнонаучной грамотности, но они «растворены» среди других задач, предметных, метапредметных и личностных результатов.

На практике ЕНГ как часть функциональной грамотности проявляется в действиях обучающихся, и оценка сформированности ЕНГ осуществляется путем оценки конкретных навыков, которые учащиеся могут продемонстрировать в различных ситуациях, сходных с реальной жизнью. В представлении о функциональной грамотности существенное место занимает способность использовать естественнонаучную грамотность для постановки и изменения целей и задач собственных действий, коммуникации и выполнения простейших действий в неопределенных ситуациях. В этих условиях одним из оптимальных путей достижения эффективности в обучении химии выступают самостоятельные учебные действия, которые позволяют формировать у обучающихся естественнонаучную грамотность.

Для того чтобы определить значение термина «самостоятельные учебные действия» обучающихся прежде всего, важно определить ключевые понятия: «действие», «учебные действия» и «самостоятельная деятельность». В исследованиях С.Л. Рубинштейна написано, что личность характеризуется таким уровнем психического развития, который позволяет ей сознательно управлять собственным поведением и деятельностью. Соответственно, суть духовного и психического развития, обучающегося полностью зависит от развития мышления. В свою очередь развитие мышления может идти только в процессе активной деятельности. Любая деятельность, включая учебную, состоит из действий и осуществляется только через них.

Изучив и проанализировав психолого-педагогическую литературу по данной теме заключим, что под «самостоятельными учебными действиями» мы будем понимать – совокупность способов действия, обеспечивающих осознанное желание обучающегося самостоятельно приобретать новые знания и умения, и предполагающих организацию этого процесса.

Рассматривая самостоятельные учебные действия, которые являются основой нашего исследования, мы ставим на первое место умение учащегося находить выход из проблемы, которые возникают в разных ситуациях: применять свои знания по химии в повседневной жизни. Химические знания являются продуктом обучения, т.е. следствием выполнения самостоятельных учебных действий и его самоорганизация.

Механизмом достижения ЕНГ является взаимосвязанная деятельность учителя и обучающегося. Взаимоотношения их основаны на общении, а конкретная методика направлена на повышение мотивации обучающихся к изучению элективного курса; обеспечение формирования и развитие мировоззрения; показа целостности химических знаний раскрытие химических знаний регионального характера с жизнью обучающихся. В качестве результата содержательно выступает формирование личности с активной жизненной позицией, способной к оптимальной ориентации и продуктивной деятельности в социокультурном пространстве и обладающий потенциалом быстро адаптироваться в мире. Условием достижения их является целостность знаний, связь компонентов. Центром методической системы процессуальной части выступает организация самостоятельных учебных действий, обучающихся на основе, которых достигаются ЕНГ.

Методическая система достижения естественнонаучной грамотности через элективный курс «Химия в повседневной жизни» рассматривается на примерах отдельных занятий в аспекте тех задач, которые ставились при отборе учебного материала. Рассмотрим в качестве примера экспериментальные данные выявляющие сформированность ЕНГ у обучающихся в условиях

дополнительного образования. Основной целью педагогического эксперимента выступает: проверка предлагаемой методики исследования на достижение естественнонаучной грамотности. При этом необходимо обосновать процедуру статистических критериев, дающих возможность повысить объективность вывод относительно развития самостоятельных учебных действий обучающихся. Экспериментальное исследование проводится на базе муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения «ВВССОШ им. Ю. Н. Прокопьева» Верхневилуйского района Республики Саха (Якутия). Экспериментом было охвачено 28 обучающихся 10 и 11 классов. Достоверность полученных результатов эксперимента проверялась с помощью параметрического показателя – критерия Стьюдента. Для сравнения результатов «до эксперимента» и «после эксперимента» между собой был использован критерий Т-Стьюдента для связанных (парных) выборок.

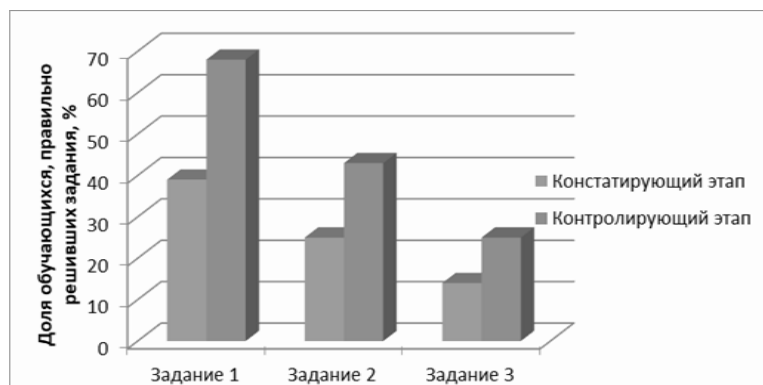


Рисунок 1 – Отношение результатов контролирующего этапа к констатирующему этапу

Как видно на диаграмме из рис. 1, доля обучающихся, правильно решивших задания значительно возросла после введения элективного курса «Химия в повседневной жизни». Полученные данные говорят о том, что организация самостоятельных учебных действий, обучающихся в рамках элективного курса способствует формированию естественнонаучной грамотности.

Таким образом, методика совершенствования преподавания элективного курса «Химия в повседневной жизни», включающая постепенное усложнение уровня деятельности обучающихся от репродуктивного к продуктивному – творческому, с нарастанием доли самостоятельности позволяет учащимся совершенствовать свои знания, развивать свой опыт. Так как самостоятельное приобретение знаний, умений и навыков является важнейшим условием эффективной учебной деятельности, ведущая роль в этом процессе принадлежит собственным действиям обучающихся с учебными материалами, самостоятельной работе, направленной на овладение знаниями, умениями, опытом деятельности в стандартных и нестандартных ситуациях, эмоционально-ценностным опытом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Заграничная, Н.А. Функциональная грамотность учащихся: условия и пути формирования [Текст] / Н.А. Заграничная, Л.А. Паршутина // Химия в школе – 2020 - №7 – с. 15-20.
2. Рубинштейн, С.Л. Основы общей психологии [Текст] / С.Л. Рубинштейн – Санкт-Петербург: Питер, 2000. – 705 с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПЛАМЕННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ПИЩИ

Гузаирова А.К., Исакова А.И., Петрова Н.Н.

СВФУ, Якутск, Россия

guzairalina@gmail.com

“DEVELOPMENT AND RESEARCH OF FLAMELESS FOOD HEATING”

В данной статье предложена разработка беспламенного нагревателя пищи (БНП) на базе оксида кальция СаО. С использованием калориметрического метода изучен процесс выделения тепла нагреваемой смеси на основе СаО и сравнение смеси БНП (GB/T 6543-2008), произведенной компанией Zhejiang Xindan Industry and Trade Co., Ltd (КНР). Результаты предварительных исследований показывают, что созданная нами нагревательная смесь на основе СаО обладает удовлетворительными характеристиками.

Беспламенный нагреватель пищевых продуктов (БНП) изначально был разработан для использования военнослужащими в полевых условиях. Однако в настоящее время он находит все большее применение среди охотников, рыболовов, туристов, альпинистов и водителей благодаря своим преимуществам, таким как отсутствие необходимости использования огня, безопасность и удобство хранения и транспортировки.

В условиях полевых работ, длительных автомобильных поездок или при увлечении такими видами активного отдыха, как рыбалка, охота, туризм, альпинизм, вопрос горячего питания становится особенно актуальным, что обуславливает растущую востребованность БНП.

Цель данной работы состояла в разработке доступной, простой и безопасной смеси химических реагентов, способной не только быстро нагреваться до максимально возможной температуры, но также и поддерживать эту температуру в течение заданного периода времени.

В качестве объектов исследования были выбраны Беспламенный нагреватель пищи GB/T 6543-2008 (производства Zhejiang Xindan Industry and Trade Co., Ltd, КНР) и разработанная нами нагревательная смесь БНП на основе CaO-Al. Для получения смеси, которая будет обеспечивать реакцию и поддержание оптимальной для нагрева пищи температуры в течение 12-15 минут после добавления активатора (согласно требованиям к БНП), была разработана рецептура смеси, состоящая из 3, 4 и 5 компонентов с различными пропорциями. В качестве основных компонентов нашей смеси были выбраны: оксид кальция CaO, алюминиевый порошок Al, хлорид натрия NaCl и карбонат натрия ч.д.а. Na₂CO₃, сода пищевая NaHCO₃. Алюминиевый порошок играет роль основного тепловыделяющего агента, поскольку вызываемая им реакция окисления является экзотермической. Активацию этой реакции осуществляет обычная водопроводная вода [1,2]. После нарушения целостности внешней упаковки пакета взаимодействие алюминиевого порошка с кислородом приводит к его окислению. Ускорение окисления алюминиевого порошка достигается при помощи воды и соли [2].

В общей сложности было подготовлено и испытано 13 образцов нагревательной смеси БНП в соответствии с разработанной рецептурой. Во всех случаях добавлялась водопроводная вода в соотношении 1:3. Были измерены максимальная температура и температура через 5, 10 и 15 минут после начала реакции. Перед началом испытаний измерялась температура воздуха, составившая 25 °C (77 °F), что соответствовало требованиям [3]. Реакция идет от -32 °C (-25 °F) до 43 °C (110 °F) [3]. Испытание проводили в лабораторных стаканчиках под вытяжкой. Определение тепловыделения калориметрическим методом проводилось в специальном калориметре УЛК “Химия”. Для этого аналогичным способом была приготовлена смесь, выбранная из числа предварительно испытанных образцов.

Результаты измерения температуры нагрева БНП на основе CaO-Al приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры компонентов и результат нагревания БНП на основе оксида кальция CaO.

Реагенты	параметры	1	2	3	4
m, г					
CaO	время нач р-и	2:25	3:03	2:00	2:15
Al	max t°C	>100	>100	>100	>100
NaCl	t ₅	100	101	103	98
NaHCO ₃	t ₁₀	82	85	93	71
Na ₂ CO ₃	t ₁₅	60	54	87	43

Все образцы показали максимальную температуру выше 100 °C. Через 10 минут после начала реакции их температура колебалась в диапазоне 71–93 °C. На 15-й минуте у образцов с карбонатом натрия наблюдалось резкое снижение температуры на ±30 °C, что свидетельствует о неправильном соотношении компонентов в смеси. В качестве контрольной смеси выступала нагревательная смесь БНП GB/T 6543-2008 (производство: Zhejiang Xindan Industry and Trade Co., Ltd, КНР), к чьим характеристикам мы стремились. Максимальная температура достигла 91°C, на 15 минуте температура упала до 82°C. Одним из основных критериев для БНП является соблюдение температурного режима в пределах 80-87 °C в течение 15 минут после начала реакции. В связи с этим, для дальнейшего изучения была выбрана смесь БНП с пищевой содой под номером 3, чей результат максимально близок к результату контрольной смеси.

Результаты определения выделения теплоты калориметрическим методом показаны на рис. 1 и 2.

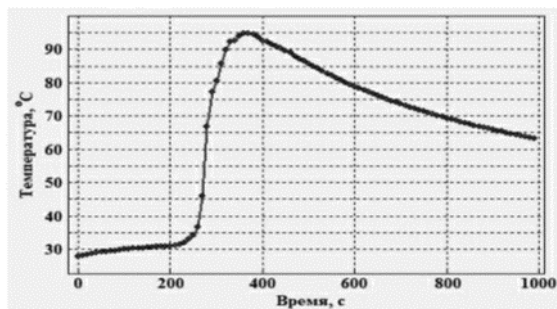


Рисунок 1 – Результаты определения выделения теплоты калориметрическим методом контрольной смеси

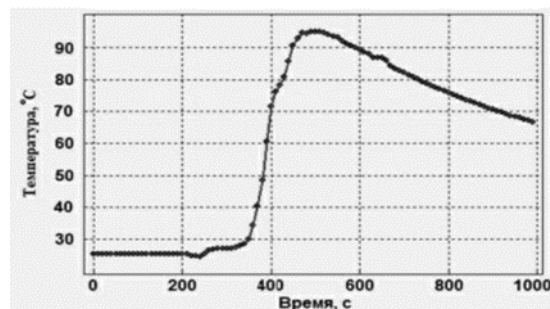


Рисунок 2 – Результаты определения выделения теплоты калориметрическим методом смеси на основе CaO

При сравнении двух результатов определения выделения теплоты видно, что разработанная нами нагревательная смесь и контрольная смесь на 1000 сек (16 мин) одинаково остановились на 65-70°C. Главное расхождение – время начала реакции, если контрольная смесь начала реагировать уже на 3-4 минуте, наша смесь начала с 4:30 минуты, что не критично, так как максимальная температура обеих смесей достигает 95 и 100°C соответственно, с разницей в 1:30 мин.

В ходе исследования были разработаны и исследованы нагревательные смеси БНП. Калориметрические исследования БНП на основе CaO-Al показали, что максимальная температура достигается на 500 сек и составляет 95°C, а для контрольной смеси максимальная температура составила 95°C на 350 сек. После сравнения результатов выделения теплоты и измерения лабораторным термометром температуры нагревания смесей, пришли к выводу, что нашли соответствующий нашим требованиям состав и соотношение нагревательной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Степин, Б.Д. Книга по химии для домашнего чтения [Текст] / Степин Б.Д., Аликберова Л.Ю. – Москва: Химия, 1995 – 101 с.
2. Кларзак, И. Влияние температуры и влажности на тепловой эффект коммерческих химических грелок на основе железного порошка [Текст] / Кларзак И. – Польша, Варшава, 2017.
3. Эрнест, С.Г. Беспламенный нагреватель, нагревательный узел и нагревательный комплект [Текст] / С.Г. Эрнест. – 1965.

РАЗРАБОТКА УЧЕБНЫХ ЗАДАНИЙ НА ОСНОВЕ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ОБУЧЕНИИ ХИМИИ

Петрова И.И., Андреева М.П.

СВФУ, Якутск, Россия

petrova.00.i@icloud.com

“DEVELOPMENT OF LEARNING ACTIVITIES BASED ON THE TAXONOMIC APPROACH IN CHEMISTRY TEACHING”

В современном высокотехнологическом мире высоки требования к образованию и профессиональным компетенциям специалистов различных уровней. Поэтому на первый план выдвигается задача интеллектуального развития человека со школьной скамьи. Интеллектуальное развитие школьников возможно при реализации системно-деятельностного подхода, применении познавательных заданий, организации самостоятельной познавательной деятельности обучающихся в процессе обучения химии.

Таксономия известного ученого Б. Блума представляет классификацию задач и соответствующих целей обучения, которые ставит учитель перед учениками. Все они разделены на три области: когнитивную, аффективную (эмоциональную) и психомоторную (иначе: «знаю – чувствую – творю»). Внутри каждой сферы переход на более высокий уровень невозможен без постижения опыта в предыдущих.

«Пирамида Блума» – это иерархически взаимосвязанная система образовательных целей. Каждый

её уровень предполагает формирование определённых навыков мышления (от простого к сложному). Б. Блум выделяет 6 основных разделов: знание, понимание, применение, анализ, синтез и оценка. Задача учителя – планировать уроки таким образом, чтобы на каждом из них побудить к деятельности все типы интеллекта обучающихся.

Используя приёмы, основанные на таксономии Б. Блума, нами выдвинута идея разработки и применения познавательных заданий, позволяющих диагностировать уровни сформированности когнитивных умений (от применения – к сравнительной оценке) при изучении темы «Периодический закон и периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева». Периодический закон и периодическая система являются фундаментальными концепциями в химии и играют важную роль в познании химии школьниками. При разработке познавательных учебных заданий следовали основополагающим дидактическим принципам развивающего и воспитывающего обучения, научности, доступности и положительной мотивации, и благоприятного эмоционального климата обучения.

Во время летней производственной практик была апробирована методика применения разработанных познавательных заданий на основе таксономического подхода. На констатирующем этапе педагогического эксперимента была проведена проверочная работа, направленная на выявление уровней достижения учебных целей по ранее изученным темам «Первоначальные химические понятия» и «Основные классы неорганических соединений». Ниже приводятся образцы заданий.

1 уровень знание	Дайте определение следующим химическим понятиям: А) Валентность – это ... Б) Вещества – это ...
2 уровень понимание	А) Почему формула оксида алюминия Al_2O_3 ? Б) Почему формула сульфата меди SO_3 ?
3 уровень применение	А) Напишите формулу оксида фосфора с учетом валентности элементов и расставьте коэффициенты в уравнении реакции. $P + O_2 = P_xO_y$ Б) Напишите уравнение реакции между соляной кислотой и гидроксидом натрия
4 уровень анализ	А) Почему перестали использовать H_2 для заполнения воздушных шаров? Теперь каким газом и почему заполняют воздушные шары? Б) Почему для получения кислорода не используют HgO ? Каким способом лучше получать кислород?
5 уровень синтез	А) Составьте правило обращения со средствами бытовой химии Б) Составте правило обращения с концентрированными кислотами

Анализируя данные выполнения теста каждым обучающимся можно сделать следующие выводы: большинство обучающихся находятся на первой категории «знание», школьники достаточно хорошо воспроизводят определение химических понятий, почти половина из них умеют применять знания в похожей ситуации, 25% из них справляются с заданием на анализ предложенной ситуации. С заданиями на синтез новых знаний (умений, правил) никто не справился. В связи с этим на обучающем этапе педэксперимента была поставлена задача разработка или отбор учебных заданий на понимание, применения и анализ предложенной ситуации.

Например, вопрос «Почему натрий относится к щелочным металлам?» требует следующего ответа – потому что гидроксид натрия (NaOH) является щелочью. Задание типа: Распределите ниже приведенные вещества на простые и сложные: SO_2 , Cu, KOH, N_2 , O_2 , Br_2 , NaCl, $MgSO_4$, Fe, ZnO – требует применение знаний, какие вещества относятся к простым и сложным. Следующее задание: Сравните строение и свойства атомов химических элементов: почему калий является более активным металлом, чем натрий? Дайте обоснованный ответ, используя строение атомов металлов – требует достаточно хорошего логического анализа ситуации.

На изучение данной темы программой предусмотрено 9 часов. На каждом уроке, по каждой теме были разработаны или адаптированы познавательные задания с учетом таксономии учебных целей Б. Блума. При этом прослеживается, что задания на понимание и применение обеспечивают более

прочные знания, соответственно можно утверждать, что происходит совершенствование знаний. Со временем обучающиеся достаточно уверенно выполняют задания на уровне анализа и синтеза, а задания на уровне оценки, все еще вызывают определенные трудности.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНО-ЦЕННОСТНОГО ОТНОШЕНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ШКОЛЬНОГО КУРСА ХИМИИ

Яковлева У.М., Андреева М.П.

СВФУ, Якутск, Россия

ulianajak@mail.ru

“FORMATION OF AN EMOTIONAL-VALUES ATTITUDE TO STUDYING A SCHOOL CHEMISTRY COURSE”

Во все времена, знание считалось непреходящей ценностью, то есть образованный человек должен осознать свою уникальность, неповторимость. Известны высказывания древнегреческого философа Сократа в вопросе сути нравственного назначения индивида «познай самого себя», «знание – главная добродетель». Эти высказывания остаются актуальными для современной педагогики, так как, сейчас, как никогда, образованная личность защищена, имеет вес в обществе, может трудоустроиться, найти работу по душе. Поэтому школа, в первую очередь, должна научить обучающихся познавать не только мир, но и свою природу, свои природные задатки, потребности.

Одним из главных требований ФГОС является достижение личностных результатов, таких, как самопознание, самообразование, саморазвитие обучающихся. Задачей каждой школы является обеспечение знаниями и умениями, которые помогут в трудовой деятельности и преодолении жизненных трудностей. Самопознанием является процесс осознания и накопления учащимися представлений об окружающем мире, где они могли бы установить взаимоотношения. Самопознание – это условие волевой саморегуляции поведения школьника, наличия у него информации о самом себе, которое определяется из его природных задатков, личных качеств родителей и самого ребенка. Воля у обучающихся должна проявляется в способности осуществлять действие, преодолевая внешние и внутренние препятствия.

В настоящее время великое множество химических веществ, применяются в быту, промышленности и в сельском хозяйстве. Вместе с тем получение химических знаний являются ценностью, владение которыми окажут обучающимся доброе дело. Здесь требуется самостоятельное мотивированное обучение, в ходе которого требуется сосредоточение на получении тех знаний, которые больше всего нужны в данный момент. Мотивация у обучающихся должна быть направлена на желание освоить интересное для дальнейшей благополучной жизни.

Одним из средств формирования ценностного отношения к изучению химии мы предлагаем элективный курс «Химия хорошего настроения», направленного на самопознания своей природы. Целью элективного курса является формирование эмоционально-ценностного отношения к изучению химии через содержание и методику проведения элективного курса.

Наукой давно доказана, что эмоциональное состояние человека во многом определяет успешность человека в жизни и его здоровье. Самопознание в психологии занимает особую позицию. Эта проблема, которая волнует многих людей, стремящихся к самосовершенствованию. Сделать свою жизнь более осмысленной и примечательной в силах каждому человеку. Нужно только прилагать собственные усилия для развития. Путь самопознания сам по себе не может считаться легким. С точки зрения физиологии эмоциональное состояние во многом определяется действием группы гормонов, таких как дофамин, эндорфин, серотонин, окситоцин, которые выделяются гипофизом, надпочечниками. Некоторые из них относятся к нейромедиаторам, т. е. химическим веществам, через которых нужные сигналы передаются другому нейрону.

С целью выявления эмоционального состояния обучающихся нами было проведено анкетирование «Настрой на счастливую жизнь». Анкета состояла из 4 вопросов с выбором нескольких ответов, соответствующих их эмоциональному состоянию. Добрая половина обучающихся приходят в школу с хорошим настроением с ожиданием встречи с друзьями-50%, к сожалению, только 24% приходят в школу получать новые полезные знания, 12.5 % – с надеждой продолжения общения с друзьями в виртуальном мире, 15% – дали свой вариант ответа, что приходят без большого желания учиться, без всякой радости. Результаты ответов на 2 вопрос показывают, что 26% чувствуют большую радость от встречи с друзьями, 21% испытывают радость от покупки модных вещей; 38% получают радость от любимых занятий, 14% опрошенных чувствуют радость, когда их хвалят за познания нового. На 3

вопрос «Кого считать счастливым человеком?» – 31% опрошенных счастливыми считают богатых людей, 37% считают счастливыми дружные семьи с хорошей жизненной программой, 23% счастливыми называют успешных в учебе и в жизни, в науке людей, 10% школьников называют себя счастливыми.

Таблица 1 – Названия и химические формулы гормонов и нейромедиаторов, регулирующих эмоциональное состояние человека

Название гормона	Химическая формула	Функция	Орган выработки гормона
Дофамин	$C_8H_{11}NO_2$	нейромедиатор и нейрогормон регулирует эмоциональное состояние, воли, характера	Надпочечники, гипоталамус
Эндорфин	$C_{158}H_{251}N_{39}O_{46}S$	нейрогормон реализация мечты, достижение цели, отвечает за удовольствие и эйфорию (счастье).	гипофиз
Серотонин	$C_{10}H_{12}N_2O_3$	нейромедиатор и нейрогормон регуляция настроения, душевное состояние человека	мозге и центральной нервной системе
Окситоцин	<u>Cys-Tyr-Ile-Gln-Asn-Cys-Pro-Leu-Gly.</u>	нейропептид и пептидный гормон установления социальных отношений и родительское поведение (продолжение рода)	в центральной нервной системе, в гипоталамусе

На вопрос «Какова ваша установка на хорошую жизнь?»: 18% планируют быть в постоянном движении, не останавливаться в своем развитии, 12% намерены получить широкое образование и найти достойную работу, 27% хотят завести полезные связи, дружбу с нужными людьми, 16% хотят быть полезным обществу (спасти мир, природу), а 27% намерены заработать и уехать за границу.

Ранжирование по результатам анкетирования позволило выявить следующую картину. Большинство учащихся приходят в хорошем настроении, предвкушают радость от встречи с одноклассниками и друзей. Но 49% не чувствуют удовлетворенности от учебной деятельности, у них отсутствует позитивный настрой на учебную деятельность. Из них у 15% респондентов нет большого желания учиться, приходят в школу без всякой радости, провести время с друзьями. Это указывает на то, что у определенной части обучающихся в недостаточной степени развита мотивация на учебу, не сформировано эмоционально-ценностное отношение к образованию.

Педагогическое исследование продолжается. На обучающем этапе педагогического эксперимента планируется формирование эмоционально-ценностного отношения к изучению химии, обеспечивающей безопасной жизнедеятельности.

СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ КАК СРЕДСТВО ДЛЯ РАЗВИТИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГРАМОТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Федотова М.А., Дмитриева М.С.

СВФУ, Якутск, Россия

“SITUATIONAL TASKS IN CHEMISTRY AS A MEANS FOR DEVELOPING FUNCTIONAL
LITERACY OF STUDENTS”

В Федеральном государственном образовательном стандарте основного общего образования прописаны требования к усвоению учащимися предметных, метапредметных и личностных результатов. К основным личностным результатам по предмету химия относится функциональная грамотность, которая направлена на способность применять приобретенные знания, умения и навыки для решения жизненных задач в различных сферах. Функциональная грамотность – понятие метапредметное, и поэтому она формируется при изучении разных школьных дисциплин и имеет разнообразные формы проявления: языковая грамотность; математическая грамотность; естественно-научная грамотность; цифровая грамотность; финансовая грамотность; культурная и гражданская грамотность.

Понятие функциональной грамотности школьников появилось в 1970-е годы и подразумевало

совокупность навыков чтения и письма для решения реальных жизненных задач. За следующие 40 лет функциональная грамотность в обучении и развитии школьников приобрела большую значимость, чем базовая. Сегодня функционально грамотный ученик – индикатор качества образования.

Все виды грамотностей направлены на формирование ключевых компетенций обучающихся, позволяющих школьникам решать сложные задачи: успешно решает разные бытовые проблемы; умеет общаться и находить выход в разнообразных социальных ситуациях; использует базовые навыки чтения и письма для построения коммуникаций; выстраивает межпредметные связи, когда один и тот же факт или явление изучается, а затем и оценивается с разных сторон.

Основные этапы функциональной грамотности:

- создание образовательных маршрутов в соответствии с разделами программы,
- подбор методических рекомендаций,
- отслеживание результатов,
- разработка методических рекомендаций.

Эффективность процесса обучения будет лишь при условии, когда он имеет деятельностные организационные формы и, обладая соответствующим содержанием, в определенном возрасте способствует формированию тех или иных типов деятельности. Одним из эффективных приемов, направленных на формирование функциональной грамотности школьников, является умение решать ситуационные задачи.

Ситуационные задачи – это задачи, позволяющие ученику осваивать интеллектуальные операции последовательно в процессе работы с информацией: ознакомление — понимание — применение — анализ — синтез — оценка (модель Блума).

При регулярном использовании ситуационных задач на уроках химии у школьников формируются универсальные учебные действия: поиск необходимой информации в различных источниках, анализ этой информации, применение предметных знаний в нестандартных жизненных ситуациях, умение дискутировать, отстаивать свою точку зрения, уважать мнение других, ведение исследовательской работы, публичная защита исследовательского проекта. Также учащиеся начинают лучше понимать связь химии с повседневной жизнью человека. Определителем сформированности данных общеучебных действий является умение учащегося самостоятельно составлять ситуационные задачи по теме урока.

Модель ситуационной задачи выглядит следующим образом:

1. Название ситуационной задачи. Она должна иметь не традиционный номер, а красивое и привлекательное название, отражающее её смысл.
2. Личностно – значимый познавательный вопрос. Этот вопрос формулируется вначале задачи и обращен непосредственно к личности ученика.
3. Набор текстов. Предназначен для ответа на личностно – значимый познавательный вопрос. Информация по данному вопросу может быть представлена в разнообразном виде: фрагмент текста, выдержка из статьи в газете, таблица, график, схема, рисунок и т. д.
4. Задания к работе с данной информацией. Эти задания составлены согласно таксономии целей полного усвоения знаний Б. Блума (ознакомление – понимание – применение – анализ – синтез – оценка). Они выполняют роль «лестницы», поднимаясь по которой учащиеся должны ответить на личностно – значимый познавательный вопрос (главный при решении ситуационной задачи).

Ситуационные задания могут выполняться индивидуально, в паре или в группе. В группе роли распределяются следующим образом: спикер (лидер), генератор идей, секретарь, оппонент, информатор. Независимо от того, какая форма работы при выполнении ситуационной задачи использовалась, на каждого ученика целесообразно вести карточку для оценивания выполненных заданий. Карточка представляет собой матрицу оценивания выполненных учеником заданий

Эти задачи можно использовать на различных этапах урока: первичное усвоение знаний, применение и закрепление знаний, обобщение и систематизация знаний. Однако следует понимать, что ситуационная задача не может быть ежедневным, даже еженедельным инструментом обучения. В рамках одного предмета в течение учебного года таких задач может быть от 3 до 5 и лучше в следующем порядке: первая – мотивационная (в начале года), которая привлечёт интерес к предмету; вторая, третья, четвертая - обучающая (в течение года), которая обучает методу решения ситуационных задач и базируется на «основных» темах курса; пятая – оценочная (в конце года), которая показывает способность школьника самостоятельно решать проблемы в реальной жизненной ситуации.

На основе изложенного выше приводим примеры ситуационных задач для 8–9-х классов по темам «Неметаллы и их соединения» и «Металлы и их соединения».

Задача №1. Ваш сосед прочел в книге для садоводов, что при посадке плодовых деревьев и ягодных

кустарников надо в яму для саженца вместе с удобрениями положить несколько расплюснутых и обожженных на костре металлических консервных банок. Он попросил вас объяснить смысл этого приема. Как вы это объясните с точки зрения химии? Почему нередко комнатные растения, посаженные в металлическую банку из-под консервов, лучше растут, чем такие же растения в глиняных горшках?

Задача №2. При сливании воды из электрочайника вы обнаружили хлопьевидный осадок рыжевато-коричневого цвета с частичками песка. Что нужно сделать для того, чтобы кипяченая вода оказалась пригодной для питья? Какие способы очистки воды вы можете предложить? Какие из предложенных способов используете дома? На чем они основаны? Напишите уравнения возможных химических реакций. Может ли накипь влиять на организм человека? Поясните.

Задача №3. Вечером вы почувствовали легкое недомогание, першение в горле, головную боль, решили измерить температуру. Когда вы стряхивали термометр, то случайно выпустили его из рук, он разбился, ударившись об пол. Какой металл использовался в термометре? На каких физических свойствах основано применение металла в термометре? Опишите ваши действия в произошедшей ситуации. Что такое демеркуризация? В чем опасность токсического действия этого металла на организм человека?

Рекомендуемые критерии оценки решений задач:

1. предъявление способа решения;
2. четкая формулировка ответа – решения задачи;
3. логика решения (какова последовательность шагов, способствующих решению задачи?);
4. теоретическое обоснование решения;
5. широкий охват источников информации, в том числе на иностранном языке;
6. полноценная презентация «продукта» решения.

Проанализировав матрицу выполнения ситуационных заданий у каждого ученика, педагог делает вывод о сформированности у ученика навыков решения практических проблем и соответствующих умений, рекомендации о том, какие задания ученику необходимо повторить и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования – М.: «Просвещение», 2011.
2. Развитие функциональной грамотности обучающихся основной школы: методическое пособие для педагогов / Под ред Л.Ю. Панариной, И.В. Сорокиной, О.А. Смагиной, Е.А. Зайцевой. – Самара: СИПКРО, 2019.
3. Жулькова, Н.В. Ситуационные задачи по химии как средство формирования универсальных учебных действий учащихся [Текст]: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. защищена 25.06.2005/ Жулькова Наталья Викторовна. – Москва, 2014. – 177 с.
4. Пичугина Г.В. Ситуационные задания по химии. 8-11 класс [Текст] / Г.В. Пичугина. – М.: «Вако», 2014.

ОНЛАЙН-ЗАНЯТИЯ ПО ХИМИИ КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ РЕГУЛЯТИВНЫХ УУД ОБУЧАЮЩИХСЯ ОСНОВНОЙ ШКОЛЫ

Данилова Н.Д., Матаннанова А.Н.

СВФУ, Якутск, Россия

nadyadanilova311@gmail.com

“ONLINE CLASSES IN CHEMISTRY AS A MEANS OF FORMING REGULATORY ACHIEVEMENT OF BASIC SCHOOL STUDENTS”

Современное общество характеризуется стремительным развитием науки и техники, созданием новых информационных технологий, коренным образом преобразующих жизнь людей. Темпы обновления знаний настолько высоки, что на протяжении жизни человеку приходится неоднократно переучиваться, овладевать новыми профессиями. Непрерывное образование становится реальностью и необходимостью в жизни человека.

Школа не является единственным источником знаний и информации для обучающихся. Современное общество ставит перед школой задачу подготовки школьника знающего, мыслящего, умеющего самостоятельно добывать и применять знания. Особое место при развитии такой личности обучающегося и его успешности в будущем занимают регулятивные универсальные учебные действия.

Российский психолог и педагог А.Г. Асмолов считает, что УУД – это действия, обеспечивающие компетенцию «уметь учиться», применимую в любой предметной области.

Педагог И.Е. Сюсюкина рассматривает УУД как совокупность обобщенных действий учащегося, а также связанных с ними умений и навыков учебной работы, обеспечивающих способность субъектов к самостоятельному усвоению новых знаний, умений и компетентностей, к сознательному и активному присвоению нового социального опыта, к саморазвитию и самосовершенствованию.

Среди личностных и метапредметных результатов, к которым относятся регулятивные, познавательные и коммуникативные УУД, именно регулятивные составляют фундамент формирования всех остальных. На это же указывают и многие исследователи, занимающиеся данной проблемой. Регулятивные УУД носят сквозной характер, «пронизывают» все остальные виды умений.

В обучении химии регулятивные УУД лежат в основе деятельности по решению учебных и реальных практических задач (проблем), а также по организации и проведению наблюдений, экспериментов, исследований и проектной работы. В федеральной рабочей программе по химии для основной школы (на базовом уровне) к регулятивным универсальным учебным действиям относятся:

1. умение самостоятельно определять цели деятельности;
2. умение планировать, осуществлять, контролировать и при необходимости корректировать свою деятельность;
3. умение выбирать наиболее эффективные способы решения учебных и познавательных задач;
4. умение самостоятельно составлять или корректировать предложенный алгоритм действий при выполнении заданий с учётом получения новых знаний об изучаемых объектах – веществах и реакциях;
5. умение оценивать соответствие полученного результата заявленной цели;
6. умение использовать и анализировать контексты, предлагаемые в условии заданий.

В современном информационном обществе одной из новых форм образования является смешанное обучение (blended learning), практикующееся в школах США, Европы и странах Юго-Восточной Азии более 10 лет. Интегрировав лучшие практики классно-урочной системы с передовыми технологиями онлайн-обучения и коллективной работы, удалось создать новую педагогическую стратегию, которая способна изменить школьное и вузовское образование.

Смешанное обучение – это образовательный подход, совмещающий обучение с участием учителя (лицом к лицу) с онлайн обучением и предполагающий элементы самостоятельного контроля учеником пути, времени, места и темпа обучения, а также интеграцию опыта обучения с учителем и онлайн. То есть современный учитель должен использовать в образовательном процессе онлайн-формы организации учебной и внеучебной деятельности школьников.

Не все учителя готовы использовать онлайн-занятия и смешанное обучение в своей практике, в том числе и для формирования регулятивных УУД на уроках химии. Рассмотрим причины данной проблемы. Во-первых, формирование регулятивных УУД путем организации онлайн-занятий по химии достаточно не изучено. Во-вторых, педагоги не имеют достаточной теоретической и практической подготовки. В-третьих, в школах нет соответствующих условий для реализации смешанного обучения.

Наше исследование посвящено использованию онлайн-занятий в обучении химии. Цель исследования – разработать методику онлайн занятий по химии для формирования регулятивных УУД обучающихся основной школы.

Задачи исследования:

1. проанализировать научно-методическую литературу, посвященную формированию регулятивных умений обучающихся основной школы и онлайн обучению;
2. выявить условия и пути использования онлайн занятий для формирования регулятивных УУД;
3. разработать способы использования онлайн обучения химии для формирования регулятивных УУД;
4. экспериментально проверить эффективность онлайн-занятий по химии как средства формирования регулятивных УУД обучающихся основной школы.

На данный момент для выявления уровня сформированности регулятивных УУД обучающихся готовимся к проведению констатирующего этапа нашего исследования. Изучены подходы к оцениванию регулятивных УУД школьников и рассмотрены примеры заданий для проверочных работ.

Мы будем оценивать умения с помощью ситуационных задач по химии. Они ложатся в основу проектной работы. Именно в ходе реализации проекта обучающиеся приобретают способность действовать самостоятельно, инициативно и ответственно при решении учебных и практических задач, используя имеющиеся предметные знания в качестве средства для разрешения проблем. Эта

способность может быть обнаружена только в ситуациях, требующих планирования и осуществления действия при отсутствии заранее известного способа достижения результата. При работе над ситуационной задачей в рамках создания проекта цель обучающегося – решение своей проблемы, изменение исходной ситуации при помощи созданного продукта, а цель педагога заключается в изменении самого обучающегося, формировании регулятивных УУД, новых умений и новых способностей школьника.

На констатирующем этапе нашего исследования будет проведен эксперимент по проверке сформированности регулятивных УУД обучающихся МОБУ «Маганская СОШ». Нами выбрана методика оценивания метапредметных результатов Н.А. Заграничной. По данной методике можно оценить следующие умения:

- 1) определять цель и способы ее достижения;
- 2) планировать задачи;
- 3) планировать деятельность по решению задач;
- 4) осуществлять самоконтроль;
- 5) осуществлять самооценку работы над проектом.

Приведем пример критериев оценивания умения определять цель и способы ее достижения в таблице 1. Каждое действие оценивается от 0 до 2 баллов. В случае, если действие не выполнено обучающийся получает 0 баллов. 1 балл – задание выполнено с помощью учителя, 2 балла – самостоятельное выполнение.

Таблица 1 – Умение определять цель и способы ее достижения

№	Действия обучающегося	Баллы
1	Цель не сформулировал	0
2	Сформулировал цель, соответствующую проблеме	0-2
3	Предположил, как можно убедиться в достижении цели, указал, что должно измениться в реальной ситуации в лучшую сторону после достижения цели, указал способ объективно зафиксировать эти изменения	0-2
4	Предложил способ достижения цели. Описал этот способ и показал, что он позволяет устранить причины существования проблемы	0-2
5	Рассмотрел возможные способы решения, определил их сильные и слабые стороны, обосновал выбор своего способа	0-2
Максимальный балл		8

Далее учитель суммирует баллы, полученные на разных этапах выполнения проекта, и вносит их в сводную таблицу. Затем определяет K_y – коэффициент сформированности регулятивных УУД по формуле:

$$K_y = \frac{n}{N} \cdot 100\%,$$

где n – количество верно выполненных операций;

N – количество всех операций деятельности.

Уровни достижения регулятивных УУД определяются в соответствии с коэффициентом сформированности умений по каждому виду деятельности:

$K_y \leq 70\%$ - базовый уровень сформированности умений;

$K_y = 70-80\%$ - повышенный уровень;

$K_y \geq 81\%$ - высокий уровень.

Задания для констатирующего этапа эксперимента будут направлены на решение практически значимых ситуаций с целью осознанного усвоения обучающимися знаний химии и ориентированные на формирование регулятивных УУД, так как в качестве решения школьники должны представить проектную работу. Примеры заданий могут быть следующие:

1. Как на долгое время завить волосы?
2. Как нарезать лук и не заплакать?
3. Как удалить различные пятна с одежды?

Таким образом, на данном этапе педагогического исследования нами выполнен анализ научно-методической литературы, посвященной формированию регулятивных умений обучающихся основной школы и онлайн обучению, изучены подходы к оцениванию регулятивных умений и составлены ситуационные задачи для проведения констатирующего этапа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Асмолов, А.Г. Разработка модели программы развития универсальных учебных действий [Электронный ресурс] / А.Г. Асмолов, О.А. Карабанова. – Режим доступа: <http://www.standart.edu.ru> (Дата обращения: 21.11.2023).
2. Сюсюкина, И.Е. Формирование универсальных учебных действий младших школьников в оценочной деятельности [Текст]: дисс кан. пед. наук: 13.00.01. защищена 20.05.2010 / Сюсюкина Ирина Егоровна. – Магнитогорск, 2010. – 203 с.
3. Федеральная рабочая программа основного общего образования – ХИМИЯ (базовый уровень) (для 8–9 классов образовательных организаций) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/22> (Дата обращения: 21.11.2023).
4. Андреева, Н.В. Шаг школы в смешанное обучение [Текст] / Н.В. Андреева, Л.В. Рождественская, Б.Б. Ярмахов. – Москва, 2016.
5. Заграничная, Н.А. Диагностика метапредметных результатов при обучении химии в основной школе: пособие для учителя [Текст] / Н.А. Заграничная, Е.В. Миренкова. – М.: Русское слово, 2020. – 240 с.

Научное издание

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Материалы VI Международной конференции с элементами научной школы для молодежи, посвященной 30-летию высшего химического образования в Республике Саха (Якутия)

27-29 ноября 2023 г., Якутск, Россия

Составители:

**Охлопкова Айтилина Алексеевна, Алексеев Алексей Гаврильевич,
Васильев Андрей Петрович и др.**

Выпускается в авторской редакции

Дата подписания к использованию 20.12.2023. Электронное издание.

Объем 10 Мб. Тираж 10 дисков. Заказ № 389.

Минимальные системные требования:

процессор с тактовой частотой 1,3 Гц и выше, оперативная память 128 Мб,
операционные системы: Microsoft Windows XP/Vista/7/8/10, ОС MAC OS версии 10,8.

Издательский дом Северо-Восточного федерального университета,
677891, г. Якутск, ул. Петровского, 5. E-mail: izdat-svfu@mail.ru

Подготовлено с готового оригинал-макета в Издательском доме СВФУ