

КОМПОЗИТНЫЙ МИР

НАУКА
#4 (105) 2023





Колонка редактора



Дорогие друзья!

Перед вами специальный номер журнала Композитный мир, который посвящен научным достижениям и приоритетным исследованиям кафедры Наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов им. Меоса Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна.

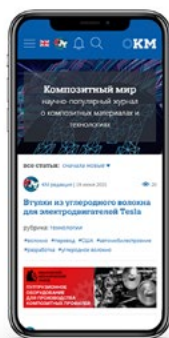
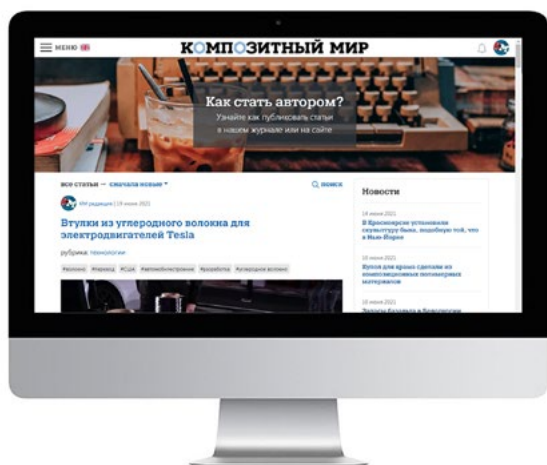
Начав свою историю в 1945 году, тогда кафедра носила название «Химической технологии искусственного волокна», и продолжая свой путь по сей день, она отвечает высоким стандартам современного образования. Специалисты, вышедшие из этих стен, обладают всем необходимым комплексом знаний и умений в сфере проектирования, создания и анализа свойств композитов и нанокompозитов.

Студенты кафедры изучают основы физико-химии полимеров, наполнителей и добавок, в том числе наноструктурных, для производства химических волокон и полимерных композиционных материалов (ПКМ); методы модификации полимеров; взаимосвязь структуры и свойств ПКМ; традиционные и перспективные технологии и оборудование для производства ПКМ; современные методы исследования свойств и определения эксплуатационных характеристик ПКМ; особенности применения композитов и нанокompозитов в различных отраслях промышленности.

В список баз производственных практик и мест трудоустройства входят крупные отраслевые предприятия такие как АО «Средне-Невский судостроительный завод», АО «НПО Стеклопластик», ОАО «Пластполимер» и АО «СветлогорскХимволокно», ООО «Специальный технологический центр», НПО «Спецматериалов» и небольшие, занимающиеся выпуском полимеров и композитов различного назначения, — ООО «Линтекс» (производство материалов для медицинских целей), АО «НПК Композит» (производство угле- и стеклопластиков), ООО «Норд-Пласт» (производство пластмассовых изделий), ООО «Респираторный комплекс» (производство средств индивидуальной защиты) и другие, при этом с каждым годом список компаний-партнеров пополняется.

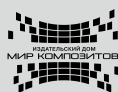
Читайте с пользой!

С уважением, Ольга Gladunova,
ассистент кафедры НВКМ



Не забудьте
посетить наш сайт
compositeworld.ru





Научно-популярный журнал
Композитный мир — наука
#4 (105) 2023

Дисперсно- и непрерывнонаполненные композиты: стеклокомпозиты, углекомпозиты, искусственный камень, конструкционные пластмассы, пресс-формы, матрицы, оснастка и т. д. — ТЕХНОЛОГИИ, РЕШЕНИЯ, ПРАКТИКА!

Регистрационное свидетельство ПИ № ФС 77-35049
Министерства РФ по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых
коммуникаций от 20 января 2009 г.

ISSN — 2222-5439

Учредитель:

ООО «Издательский дом «Мир Композитов»
8 (921) 955-48-47
www.compositeworld.ru

Директор: Сергей Gladunov
gladunov@kompomir.ru

Главный редактор: Ольга Gladunova
o.gladunova@kompomir.ru

Вёрстка и дизайн:
design@compositeworld.ru

По вопросам сотрудничества:
info@kompomir.ru

По вопросам размещения рекламы:
o.gladunova@kompomir.ru

Номер подписан в печать 30.12.2023

Отпечатано в типографии «Премиум Пресс»
Тираж 7500 экз. (печатная + электронная версия)
Цена свободная

Научные консультанты:

Александр Александрович Лысенко — д.т.н.,
профессор, заведующий кафедрой Наноструктурных,
волоконистых
и композиционных материалов им. А. И. Меоса
Санкт-Петербургского Государственного
Университета
Промышленных технологий и дизайна;

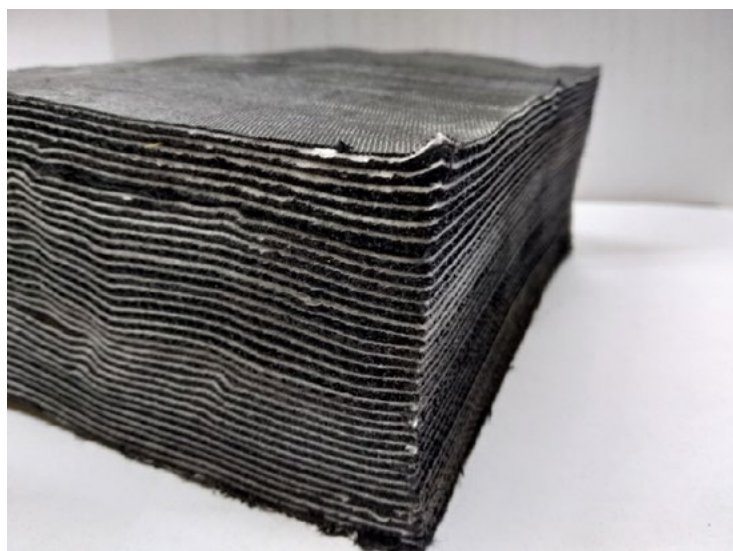
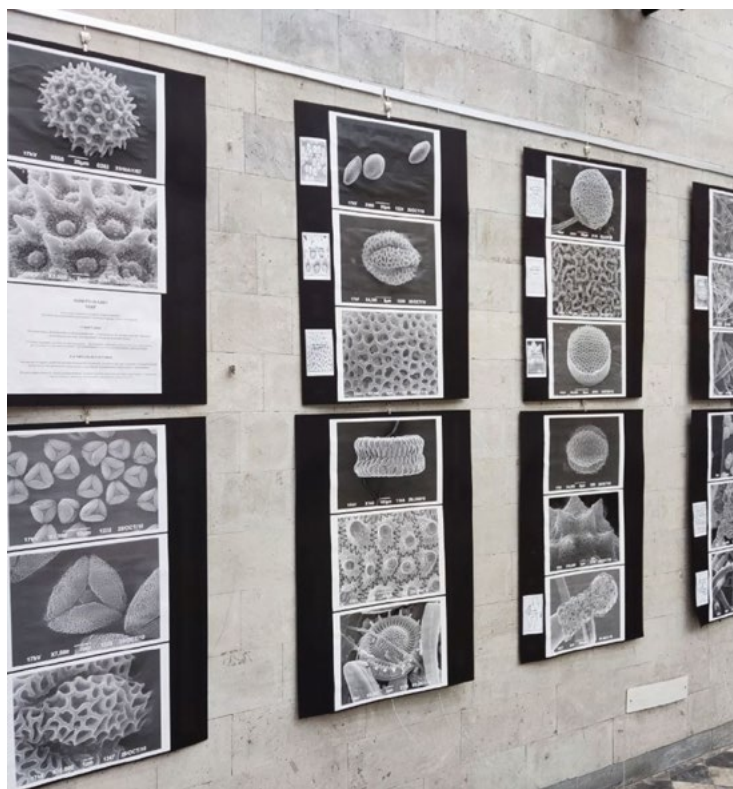
Валерий Анатольевич Жуковский — д.т.н., профессор
кафедры Наноструктурных, волоконистых и
композиционных материалов им. А. И. Меоса Санкт-
Петербургского Государственного Университета
Промышленных технологий и дизайна;

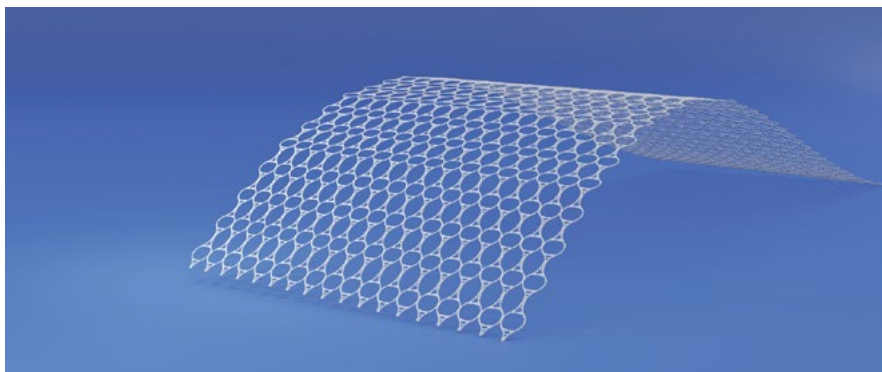
Ольга Владимировна Асташкина — к.т.н., доцент
кафедры Наноструктурных, волоконистых и
композиционных материалов им. А.И. Меоса Санкт-
Петербургского Государственного Университета
Промышленных технологий и дизайна.

* За содержание рекламных объявлений
редакция ответственности не несет.

При перепечатке материалов ссылка
на журнал «Композитный Мир» обязательна.

Мнение редакции может не совпадать
с мнением автора





Успехи и достижения кафедры НВКМ в 2023 году.....	6
Кафедра НВКМ. Приоритетные исследования и учебные программы.....	10
Фуллерены и фуллерен- модифицированные углеродные волокна.....	12
Сохраняя тепло.....	14
Как нанодобавки повышают огнестойкость технических волокон.....	18
Сферопласты и проблемы их утилизации.....	22
Химический маятник.....	24
Углерод для водородной энергетики.....	26
Композиционные материалы медицинского назначения.....	28
Биологически активные металлсодержащие волокна. Морфология и свойства.....	32
Композиционные материалы с эпоксидной матрицей и керамзитным дисперсным наполнителем.....	36
Целлюлозосодержащие отходы в составе искусственных субстратов для выращивания растений.....	42
Наполненные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена.....	48



О. И. Глудунова
кафедра НВКМ, СПбГУПТД

Успехи и достижения кафедры НВКМ в 2023 году

2023 год был насыщен событиями и мероприятиями. Все сотрудники кафедры в едином порыве вели занятия, учились, участвовали в общественных мероприятиях, активно работали со студентами и абитуриентами.

Со школьной скамьи...

В этом году на базе кафедры НВКМ организована школа теоретических и практических занятий для «Курчатовских классов» гимназии № 631 и школьников 7-11 классов школы №387. С данными школами заключены договоры о сотрудничестве. Занятия со школьниками в рамках разработанного курса «Введение в композиты» проходят на регулярной основе. На сегодняшний день проведено 12 часов теоретических и практических занятий для 60 школьников. Профессором



Наука 0+ для школьников младше 12 лет



«Курчатовские классы» гимназии № 631



Наука 0+ для школьников старше 12 лет

кафедры Асташкиной О.В. разработан адаптированный курс лекций для школьников по композитам и нано-материалам и подготовлен увлекательный цикл презентаций об уникальных волокнах, текстиле и их применении в одежде, технике и технологиях.

Уже по традиции кафедра НВКМ приняла активное участие в организации фестиваля НАУКА 0+, который в этом году прошел под слоганом «Твое полное погружение в океан науки». Кафедра приняла в своих лабораториях и погрузила в науку более 50 маленьких гостей!

В рамках программы дети младше 12 лет смогли изучить свойства воды, проверить её электропроводность, узнать какая вода проводит электричество, а какая — нет; получить медь путём электролиза. Ребята узнали и проверили сколько кислорода в воздухе, а также смогли путём реакций сделать настоящую химическую радугу. Все дружно сжигали железо и растворяли алюминий. По соседству старшеклассникам наглядно объяснили, что такое полимерные композиты, где они используются и из чего состоят, и своими руками сформовали композитные изделия методом ручной выкладки, заливки в форму и вакуумной инфузии.

Наши в «Сириусе»

С 1 по 24 июля в Образовательном центре «Сириусе» (г. Сочи) в рамках научно-технологической программы «Большие вызовы» молодые ученые-специалисты кафедры Лукичева Н.С. и Глудунова О.И. по заданию Объединенной судостроительной корпорации под-



Старший преподаватель кафедры НВКМ Лукичева Н.С. и ассистент кафедры НВКМ Гладунова О.И. в Образовательном центре «Сириус». Конкурс научно-технологических проектов «Большие вызовы»

готовили и провели практические занятия для юных дарований их многих регионов России по базовому направлению — композиты в судостроении. По завершении научно-технологической программы «Большие вызовы» разработки школьников были переданы в отдел опытного производства АО «Средне-Невский судостроительный завод» для оценки возможности их дальнейшего внедрения.

Учиться, учиться и еще раз учиться

Сотрудники кафедры НВКМ разработали рабочую программу по подготовке и переподготовке лаборантов химического анализа. Восемь бакалавров четвертого курса прошли подготовку в соответствии с программой. Руководитель программы Асташкина О.В.

Еще три студента кафедры прошли двухнедельный курс повышения квалификации по программе «Физические и физико-химические методы и средства количественного анализа» на базе Санкт-петербургского государственного университета.

Ведущие специалисты кафедры: проф. Лысенко А.А., проф. Асташкина О.В., доц. Анисимов А.В., доц. Свердлова Н.И., доц. Штягина Л.М., Виноградова Л.Е., доц. Кузнецов А.Ю., Хохлова В.А., ст. преп. Лукичева Н.С., ст. преп. Марценюк В.В., ст. преп. Дианкина Н.В., асс. Уварова Н.Ф., асс. Гладунова О.И., асс. Анущенко Т.Ю. прошли курс повышения квалификации по программе «Научные и методические аспекты подготовки специалистов в области волокнистых, композиционных и нанокomпозиционных материалов».

Семь сотрудников прошли курс повышения квалификации по теме «Материалы нового поколения. Введение в тему композиционные материалы, технологии производства и области применения».

Шесть сотрудников прошли повышение квалификации по программе «Математическое, структурное и цифровое моделирование полимерных композитов

для изделий специального назначения».

Конференции, конкурсы, выставки

Преподаватель кафедры Марценюк В.В. получил грант по стартапу «ФторТекс», суть которого заключается в создании углерод-полимерных газодиффузионных слоев для топливных элементов. Стартап успешно прошел акселерационную программу Промтехдизайн (2022 год) и FastTrack от Сколково (2023 год), является победителем конкурса грантов «Студенческий стартап» (2023 год), проводимого Фондом содействия инновациям. Проект также привлек внимание СМИ и входит в топ-1000 стартапов (174 место) по версии Платформы университетского технологического предпринимательства (<https://top1000.univertechpred.ru/>). На текущий момент привлечены инвестиции в виде гранта размером 1 млн рублей от Фонда содействия инновациям.



Старший преподаватель кафедры НВКМ Марценюк В.В.



Конференция «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология»

В текущем году сотрудники кафедры приняли личное участие в качестве докладчиков и модераторов в нескольких выставках и конференциях: 15-я международная конференция «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология», XIX международная конференция, посвященная исследованиям в области полимерных композиционных материалов «Микитаевские чтения», Восьмая Всероссийская конференция с международным участием «Топливные элементы и энергоустановки на их основе», «Композит-Экспо»: XV международная выставка: композитные материалы, технологии производства композитов, оборудование, изделия из композиционных материалов, Форум-выставка

АТМЕХРО, VIII Петербургский Международный Научно-промышленный Композитный Форум, Региональная конференция «Перспективы: молодежь в науке и образовании».

Кафедра возродила исторически значимую и актуальную традицию, организовала научно-методический семинар для заведующих профильными кафедрами «Научные и методические аспекты подготовки специалистов в области волокнистых, композиционных и нанокomпозиционных материалов». В мероприятии приняли участие заведующие профильных кафедр из Санкт-Петербургского университета промышленных технологий и дизайна, Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Ульяновского государственного технического университета, Ивановского государственного химико-технологического университета, Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, Ивановского государственного политехнического университета, Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. По результатам семинара принята резолюция о необходимости перехода обучения студентов в рамках «специалитета» и углубленных программ по композитам и нанотехнологиям.

Осенью этого года состоялась лекция-презентация «О деятельности научных рот» представителя Военной академии радиационной, химической и биологической защиты им. С. К. Тимошенко (г. Кострома) — подполковника Филатова Дмитрия Алексеевича для студентов кафедры НВКМ. Возможность прохождения будущей срочной военной службы без отрыва от научно-исследовательской деятельности, а также перспектива последующей работы в крупнейших научных центрах оборонно-промышленного комплекса — весомые поводы для студентов подумать над своим будущим уже сейчас, ведь время до выпуска пролетит незаметно.



Участники семинара «Научные и методические аспекты подготовки специалистов в области волокнистых, композиционных и нанокomпозиционных материалов»



Ректор СПбГУПТД Демидов А. В., Директор института прикладной химии и экологии Новоселов Н.П. и обладательница красного диплома Вилачева Ю. Ю.

Наша гордость

Все бакалавры очной и очно-заочной формы обучения успешно защитили выпускные квалификационные работы. Три выпускника 2023 года продолжили обучение в магистратуре. Следует отметить, что на два бюджетных места в магистратуру претендовали 8 выпускников.

Во всероссийской научной конференции молодых ученых «Инновации молодежной науки» 24–28 апреля студенты кафедры НВКМ традиционно заняли 1 и 2 места. Среди бакалавров — первое место Вилачева Ю.Ю., второе место Грозова Н. А. Среди магистров — первое место Тальвинский С.О., второе место Пименова А.В.

В рамках регионального конкурса научных проектов по полимерной тематике от нашей кафедры приняла участие три магистра. На конкурс проектов было подано 13 заявок. 1 и 2 место заняли Вилачева Ю.Ю.

и Кудринская О.В., соответственно. Тальвинский С.О. занял почетное четвертое место.

Все три аспиранта 2–3 года обучения успешно прошли аттестацию. Кроме этого, в этом году на 1 курс аспирантуры зачислено 3 человека.

Ассистент кафедры НВКМ Уварова Н. Ф. защитила диплом об окончании аспирантуры и в настоящее время готовит диссертацию к защите.

Расширяем кругозор

В 2023 году было организовано пять экскурсий на производственные предприятия по профилю подготовки: Средненевский-судостроительный завод, Специальный Технологический Центр, НПО Спецматериалов, ЦНИИ КМ «Прометей», Элерон полиформ. И шесть экскурсий за рамками учебного процесса, в том числе в Экспозиционно-выставочный комплекс «Вселенная Воды», на выставку резин и т.д.

На базе нашего университета была организована познавательная фотовыставка «Нано- микромир».

Научные достижения

За 2023 год сотрудники кафедры подготовили более 40 публикаций, 6 методических пособий, 2 патента.

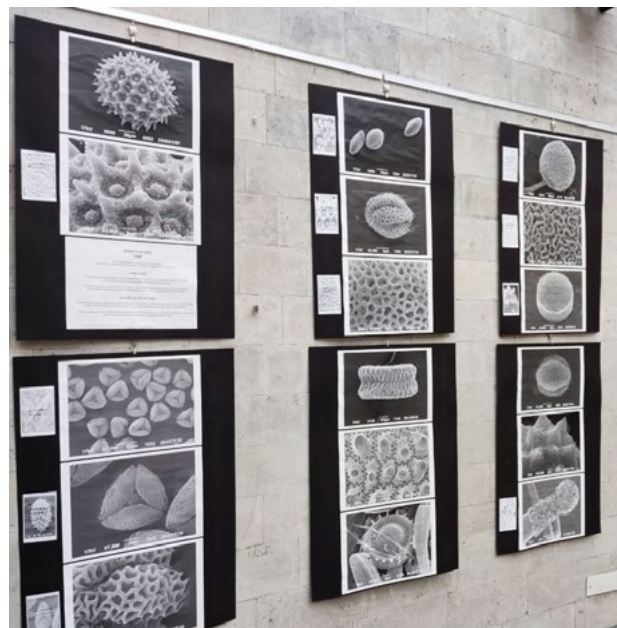
Успешно завершён договор на НИОКР, финансируемый Министерством промышленности и торговли, в ходе которого было закуплено современное лабораторное оборудование.

Заклѹчен договор о сотрудничестве с Институтом химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук (ИХС РАН), в рамках которого организована и проведена лекция по нетрадиционным способам получения энергии.

Благодаря сотрудникам кафедры в Википедии появилась страница, посвященная основателю кафедры — Меосу А.И., и группа в социальной сети ВКонтакте, которая рассказывает о деятельности кафедры. **КМ**

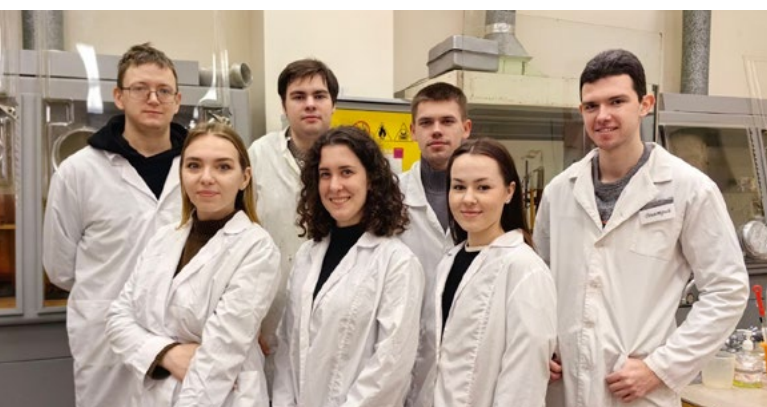


Экскурсия в ЦНИИ КМ «Прометей»



Фотовыставка «Нано- микромир»

Кафедра НВКМ. Приоритетные исследования и учебные программы



Подготовка по программе «Лаборанты химического анализа»



Экскурсия в Специальный Технологический Центр



Адаптированный курс для школьников «Введение в композиты»

В первую очередь мы преподаватели. Для нас главное — создание (разработка) актуальных и перспективных программ обучения студентов и подготовки абитуриентов. Мы уже работаем по следующим программам:

- повышение квалификации и рабочие профессии. Первый выпуск студентов состоялся,
- разработаны программы и на постоянной основе ведутся занятия с учениками средних школ, гимназий, лицеев и колледжей,
- разработаны адаптированные циклы лекций для абитуриентов: «Удивительные композиты» и «Текстильные материалы вокруг нас»,
- готовим новые программы и темы научных проектов для проведения учебно-практических курсов в Федеральном образовательном центре «Сириус» в 2024 году,
- планируем организовать в конце апреля 2024 г Всероссийскую научную студенческую конференцию-олимпиаду с участием иностранных представителей,
- приступили к разработке рабочих программ по новому направлению подготовки студентов — Углеродные материалы (наноматериалы, композиты и нанокompозиты, углеродные материалы-сорбенты, материалы медицинского назначения).

Основными направлениями НИР и ОКР кафедры следует признать:

- разработка тепло-, термо- и огнезащитных композитов,
- утилизация отходов композитных производств (сферо-, стекло- и углепластики на основе реактопластов),
- исследования и разработки, связанные с водородной энергетикой, в частности, с получением водородных топливных батарей и баллонов высокого давления.

Кроме вышеперечисленных программ и направлений работы со студентами, преподаватели активно занимаются повышением их общекультурного и патриотического уровня:

- на регулярной основе посещаем музеи и выставки,
- организовываем выставки, лекции и семинары художественной направленности.



Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

Институт прикладной химии и экологии

Кафедра наноструктурных, волокнистых
и композиционных материалов (НВКМ)
имени А. И. Меоса



Кафедра НВКМ приглашает выпускников средних школ, гимназий, лицеев, профессионально-технических училищ, колледжей на обучение с профилированием студентов в следующих областях знаний:

Направление «Химическая технология»

Бакалавры: профиль подготовки «Наноинженерия, композиты и биоматериалы»

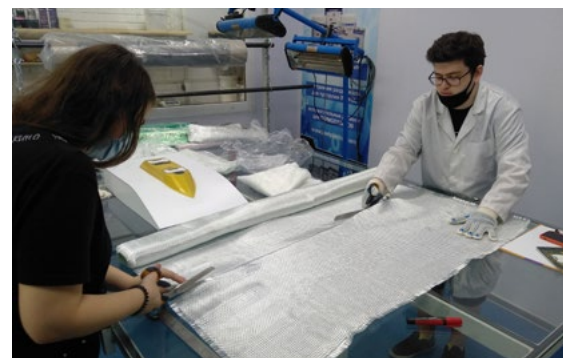
Магистры: профиль подготовки «Технологии получения полимерных композиционных и нанокomпозиционных материалов»

Студенты кафедры изучают:

- нанотехнологии и полимерные нанокomпозиты;
- химические волокна, в том числе углеродные, и материалы на их основе;
- полимерные композиционные материалы и технологии их получения;
- полимеры и биоматериалы в медицине;
- полимерные материалы в экологии;
- современные инструментальные методы исследования полимеров, волокон и композиционных материалов

На кафедре НВКМ осуществляется также подготовка в аспирантуре кадров высшей квалификации по направлению «Химическая технология», профиль подготовки: «Технология и переработка полимеров и композитов»

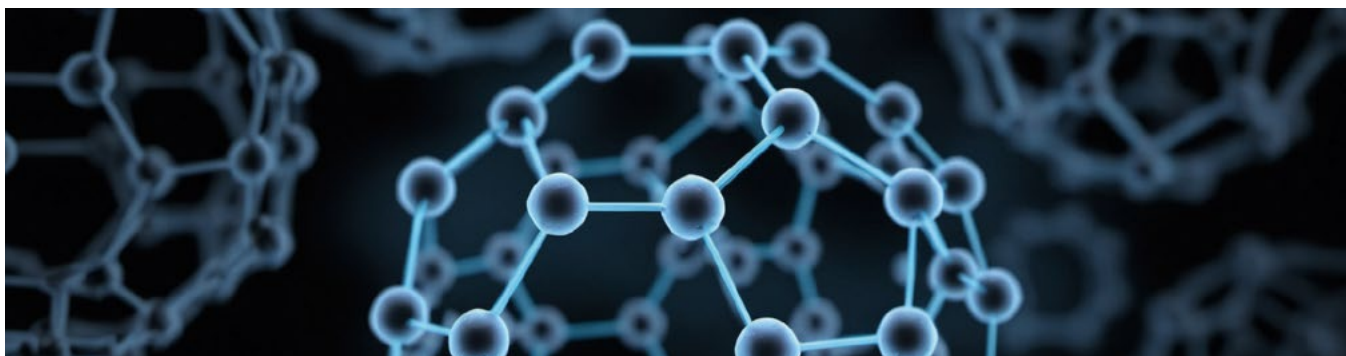
Студенты и аспиранты кафедры ежегодно участвуют в различных международных и всероссийских конференциях, проходят стажировки и практику на предприятиях отрасли.



**Получи востребованную
профессию химика-технолога!**

191186, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 18, ауд. 212
тел./факс: +7 (812) 315-06-92
тел.: +7 (812) 315-02-56
e-mail: thvikm@yandex.ru

А. А. Лысенко
О. В. Асташкина
О.В. Кудринская
кафедра НВКМ, СПбГУПТД



Фуллерены и фуллерен-модифицированные углеродные волокна

Углерод - один из самых распространённых и удивительных химических элементов, встречающихся на земле. Из углерода состоит нефть, газ, торф. Углерод является основой живых организмов. Являясь одним из древнейших элементов, углерод в виде графита, алмаза был очень хорошо изучен к концу 20 века и никакого прорыва в этой области уже не ожидалось, но именно углерод оказался тем элементом, который имеет самое большое число аллотропных соединений. В 1985 году абсолютно случайно группой англо-американских ученых, а именно Гарольд Крото, Роберт Кёрл и Ричард Смолли были открыты фуллерены. Молекулы имели 60 и 70 атомов углерода и ученые

пришли к заключению, что молекулы нового соединения углерода должны иметь сферическое строение (рис. 1). Свое название фуллерены получили в честь архитектора Бакминстера Фуллера автора музея Биосфера (Монреаль) (рис. 2). форма которого очень напоминала предполагаемую форму вновь открытого аллотропного соединения углерода.

Да. Фуллерены были открыты в конце 20 века но, до сих пор вызывают научный интерес исследователей различных областей техники и технологий.

Фуллерены, благодаря своему необычному строению, привлекают химиков различных направлений, физиков, фармацевтов, биологов, вирусологов, которые установили, что многие вирусы, например полиомиелита, имеют фуллереноподобную структуру. Фуллерены существуют везде, где есть углерод, поэтому их открытие заинтересовало и геологов, а также специалистов в области естествознания. Возможно, раскрытие загадок фуллеренов позволит получить новые сведения о возникновении и эволюции Вселенной.

Делаются попытки применения фуллеренов в разработках полимер-углеродных композиционных материалов с повышенными физико-механическими, например, трибологическими свойствами [1]. С другой стороны, в начале нового тысячелетия появились работы, посвященные изучению сорбционных свойств материалов, модифицированных фуллеренами [2, 3]. Вместе с тем многие вопросы в научной литературе связаны со взаимодействием фуллеренов с матрицами таких сорбционноактивных материалов, как активированные угли, цеолиты и ионообменные смолы. При этом авторы работ уверенно заявляют о том, что введение фуллеренов в структуру сорбента даже в гомеопатических дозах (около 0,001 масс. %)

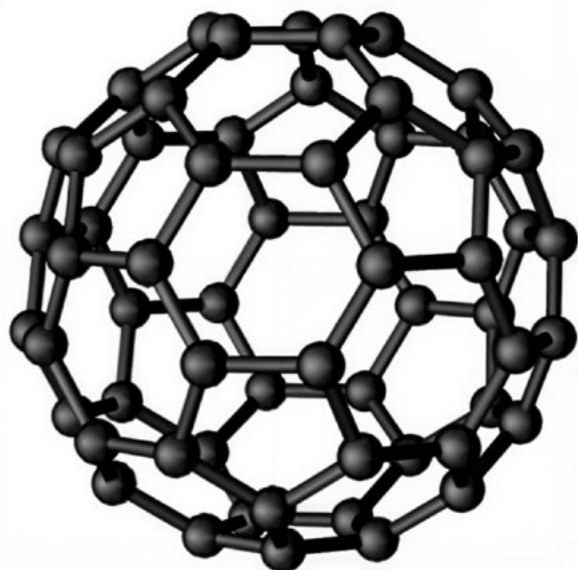


Рисунок 1. Структурная формула фуллерена C60



Рисунок 2. Музей Биосфера, Монреаль, Канада

существенным образом повышает сорбционные характеристики модифицированных материалов. В тоже время работ, посвященных изучению свойств углеродных волокнистых сорбентов, модифицированных фуллеренами насчитывается крайне мало.

Сотрудниками кафедры Наноструктурных, волокнистых и композиционных соединений им. А.И.Меоса СПбГУПТД получены углеродные активированные волокна, модифицированные фуллереном C₆₀ путем введения этих наночастиц в структуру сорбента из растворов о-ксилола. Содержание фуллеренов варьировали от 0,005 до 0,015 масс. %. Сорбционные характеристики исходных и модифицированных волокон определяли гостированными методами (по поглощению красителя метиленового голубого, толуола, йода). Показано, что сорбционная активность по йоду и объем сорбционного пространства по толуолу углеродных волокон, модифицированных фуллеренами возрастают с увеличением содержания фуллеренов, достигают своего максимального значения (81% по йоду и 0,38 см³/г по толуолу) при содержании фуллеренов 0,005-0,01 масс. %, а затем уменьшаются практически до значения, соответствующего показателям не модифицированных волокон. А сорбционная емкость модифицированных фуллеренами углеродных волокон по красителю метиленовому голубому (МГ), являющему самым популярным тест-маркером, характеризующим сорбционные свойства материалов, с увеличением содержания фуллеренов увеличивается. Так, например, если сорбционная емкость по МГ исходных волокон составляла 200 мг/г, то введение фуллеренов привело

к увеличению сорбционной ёмкости до 300 мг/г при содержании последних 0,015 масс. %.

Полученные результаты вносят существенный вклад как в теорию сорбционных процессов, так и позволяют наметить пути вторичного использования углеродных материалов, например, в средствах индивидуальной защиты органов дыхания. **КМ**

Список литературы

1. Шпилевский, М.Э. Фуллерены и фуллереноподобные структуры – основа перспективных материалов / М.Э. Шпилевский, Э.М. Шпилевский, В.Ф. Стельмах // Инженерно-физический журнал. – 2001. – Т. 74. – № 6. – С. 106-112.
2. Пат. 2575712 Российская Федерация, МПК В 01 J 20/20, В 01 J 20/30. Сорбент на основе активного угля, содержащего фуллерен и способ его получения / В.В. Самонин ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)». № 2014145174/05 ; заявл. 10.11.14 ; опубл. 20.02.16, Бюл. № 5.
3. Пат. 2332258 Российская Федерация, МПК В 01 J 20/30, В 01 J 20/20. Способ получения твердых фуллереновых материалов с высокой сорбционной способностью / В.В. Самонин ; заявитель и патентообладатель Самонин Вячеслав Викторович. № 2007100794/15 ; заявл. 09.01.07 ; опубл. 27.08.08 Бюл. № 24.



Сохраняя тепло

Н. С. Лукичева
О. В. Асташкина
А. А. Лысенко
 кафедра НВКМ, СПбГУПТД

Люди в современном мире живут в потоке энергии и различных полей: электрических, магнитных, и других. Одним из самых загадочных и интересных является тепловое поле, потому что оно присутствует везде и всегда.

Всё дело в том, что всё вокруг обладает удивительным свойством, которое называется теплопроводностью. Теплопроводность существует и в газовой, и в жидкой и в твердой среде, в устройствах и изделиях различной формы и назначения.

Что же такое теплопроводность?

Теплопроводность — процесс передачи теплоты при непосредственном соприкосновении различных тел или отдельных частиц тела, имеющих разные температуры [1].

Теплопроводность представляет собой процесс передачи теплоты соприкасающимися, беспорядочно движущимися структурными частицами вещества (молекулами, атомами, электронами и др.). Структурные частицы более нагретой части тела, обладающей большей энергией, соприкасаясь с окружающими частицами, передают им часть своей энергии. Как правило, теплопроводность в чистом виде возможна только в сплошных по структуре твердых телах.

Этот вид теплообмена наблюдается в любых термически неравновесных телах или системах тел. Механизм переноса энергии зависит от физического состояния тел.

В металлах перенос теплоты осуществляется путем движения (диффузии) свободных электронов; передача теплоты за счет упругих колебаний кристаллической решетки второстепенна.

В жидкостях, в твердых телах-диэлектриках перенос теплоты осуществляется путем непосредственной передачи теплового движения молекул и атомов соседним частицам вещества.

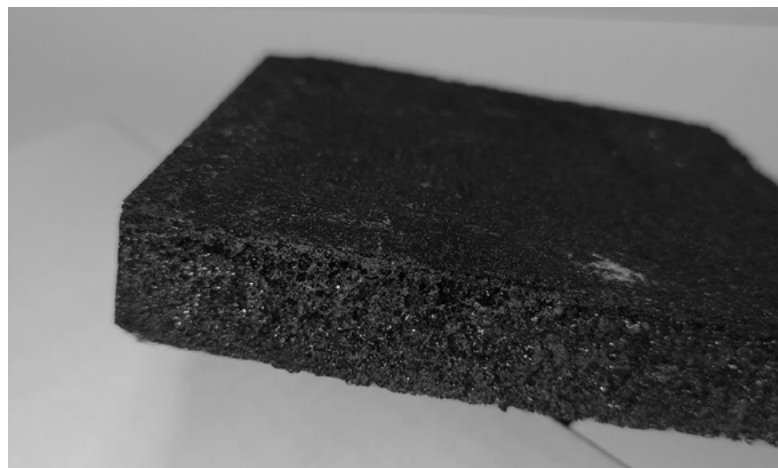
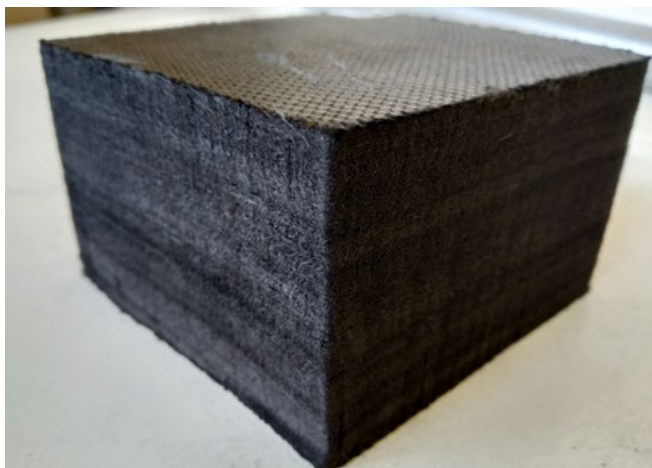
В газах перенос теплоты теплопроводностью происходит вследствие обмена энергией при соударении молекул, имеющих различную скорость теплового движения (путем диффузии молекул и атомов) [1].

Основной характеристикой процесса передачи тепла за счет теплопроводности является коэффициент теплопроводности — λ (Вт/м·К). Коэффициент теплопроводности (КТ) показывает какое количество тепла переносится через единичную поверхность за 1 секунду если градиент температур (ΔT) равен единице (1°С или 1 К) [2] и определяется по формуле (1):

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{S \cdot \Delta T} \quad (1)$$

где: λ — теплопроводность;
 Q — количество передаваемой теплоты;
 d — расстояние между двумя изотермическими плоскостями;
 ΔT — разность температур между нагретой и холодной поверхностями.

Кроме того практически значимой характеристикой



Образцы теплозащитных углерод-углеродных композитных материалов, разработанных на кафедре НВКМ

объектов может также служить температуропроводность — коэффициент температуропроводности a ($\text{м}^2/\text{с}$), который характеризует скорость распространения температуры в материале и определяется по формуле (2) [3]:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (2)$$

где: λ — коэффициент теплопроводности ($\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$);
 c — теплоемкость ($\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$);
 ρ — плотность вещества ($\text{кг}/\text{м}^3$).

На кафедре наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов (НВКМ) им А.И. Меоса Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна (СПбГУПТД) был проведен огромный объем исследования, который характеризует теплопроводность различных материалов и устройств. Нами разработаны пористые, электропроводящие материалы с очень низкой теплопроводностью и тем-

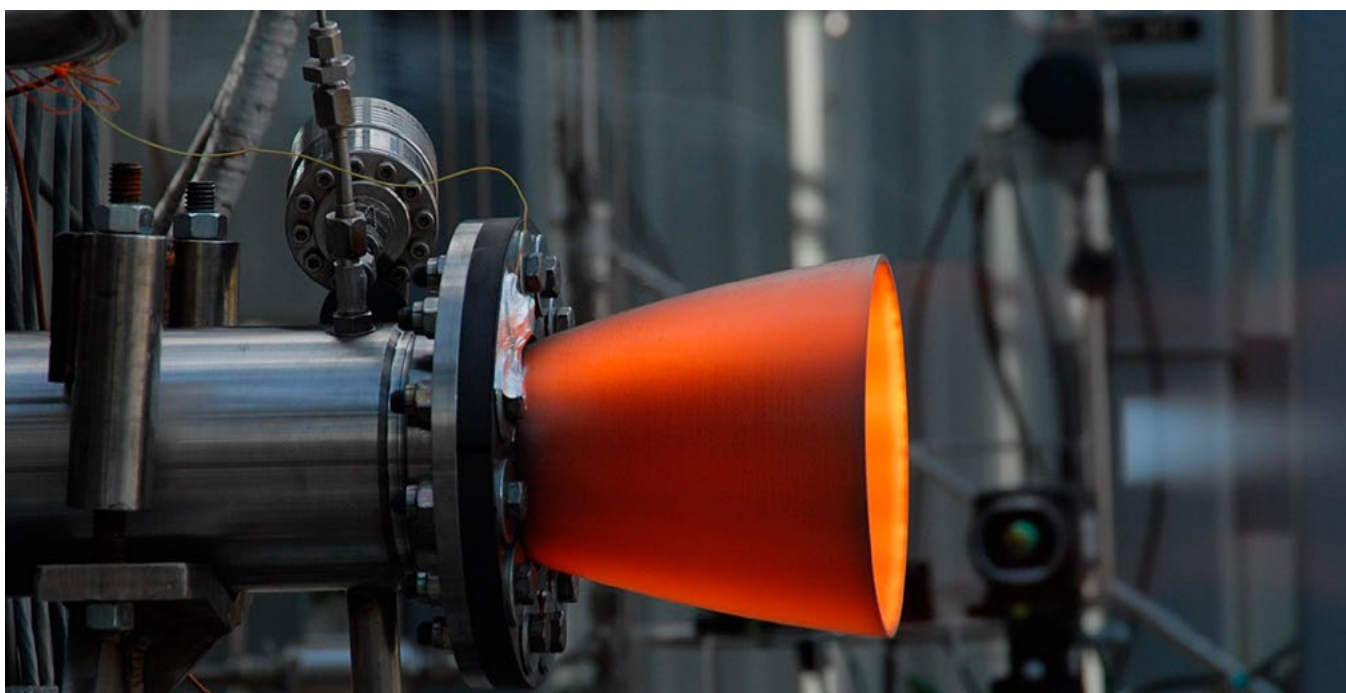
пературопроводностью ($\lambda = 0,054\text{--}0,068 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$).

Основной объем исследований и внедренческих работ был проведен с 2012 по 2017 гг. Внедрение технологий состоялось на ОАО «СветлогорскХимволокно» (Республика Беларусь), где и сейчас работает опытная установка, выпускающая по заказу разработанные материалы.

Что же это за материалы?

В первую очередь это пористые теплозащитные материалы на основе углеродных волокон, способные работать при температурах $2000\text{--}3000^\circ\text{C}$.

В рамках программы Союзного государства Россия-Белоруссия специалистами кафедры НВКМ совместно с ОАО «СветлогорскХимволокно» были разработаны и внедрены на опытном производстве пористые электропроводящие и теплоизоляционные углеродные, в том числе углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ).



Сопло из углерод-углеродного композита



Демонстрация тепло- и огнезащитных свойств углеродных композитов



Углеродная теплоизоляция высокотемпературной печи

Имеющийся задел и накопленный на кафедре НВКМ опыт позволяет внедрить данные технологии и на территории Российской Федерации.

Разработанные теплоизоляционные материалы способны работать при температурах вплоть до 3000 °С в среде инертных газов или вакууме. Такие материалы предназначены для создания высокотемпературного оборудования или защиты от теплового воздействия в среде инертных газов или вакууме. Например, их применяют в аппаратах спекания различных металлов или получения суперпрочных углеродных волокнистых материалов как из полиакрилонитрила (ПАН), так и из других прекурсоров, а также получать углерод-углеродные и углерод-полимерные материалы, способные работать в условиях сверхвысоких температур. В частности использоваться в качестве абляционной защиты и защиты от высокотемпературного огневого воздействия.

Из полученных материалов также могут быть изготовлены теплоизоляционные электронагреваемые панели, способные работать и при низких температурах (вплоть до «минус» 60 °С и ниже) и эффективно защищать от низкотемпературного воздействия как постройки и сооружения, так и технику. Образцы таких панелей обладают низкой плотностью, достаточной прочностью, не накапливают конденсат, и могут рассматриваться в качестве перспективных материалов для разработки новых видов теплозащиты в интервале температур от -60 до +150°С, например, для решения задач термоизоляции оборудования, зданий и сооружений в условиях низких температур Арктики, Крайнего Севера и Антарктики.

Перспективными теплозащитными материалами могут являться углеродные аэрогели на основе аэрографитов и углеродные пены. Что касается углеродных аэрогелей и пен, то следует уточнить, что термины «аэрографиты», «аэрогели» и «пены» — во многих случаях тождественны, и эти материалы имеют одинаковые свойства. Вместе с тем, углеродные пены — субстанции с более грубой структурой, но более дешёвы в изготовлении, чем аэрографиты или графены, что делает их привлекательными в области получения, исследования свойств и практического применения приборов, устройств и оборудования, работающих при температурах от 1000 до 3000°С. Основными недостатками углеродных пен

и аэрогелей являются не только высокая стоимость. В настоящее время не разработаны промышленные технологии изготовления из них изделий с длиной 2000 мм, шириной 1000 мм и толщиной 200–500 мм.

Наиболее простыми, но в то же время наиболее удобными для исследований, являются многослойные структуры, состоящие из комбинаций пористых углеродных и углеволокнистых слоев, обладающих низкой теплопроводностью. В результате проведенных экспериментов на кафедре НВКМ были получены также образцы углерод-углеродных композиционных материалов, содержащие внутренний вспененный слой ($\lambda \approx 0,07$ Вт/м·К; плотностью $\approx 0,29$ г/см³).

Сравнение коэффициентов теплопроводности разработанных образцов УУКМ с коэффициентами теплопроводности промышленно выпускаемой в настоящее время теплоизоляции из УУКМ, например торговой марки Sigratherm (Германия, 0,170 Вт/м·К), или используемой российской компанией — производителем высокотемпературных печей ООО «НПК «ГКМП» (0,05–0,10 Вт/м·К), а также выпускаемых углеродных пен, показывает перспективность применения разработанных УУКМ в качестве импортозамещающего теплоизоляционного материала. **КМ**

Список литературы

1. Жедяевский, Д.Н. Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов. Учебно-методические указания к лабораторной работе по курсу «Расчет и конструирование оборудования нефтегазопереработки» / Д.Н. Жедяевский, В.А. Лукьянов, А.А. Мотовилин, Д.Н. Чикичев – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. – 26 с
2. Харламов, А.Г. Теплопроводность высокотемпературных теплоизоляторов. — М: Атомиздат, 1980. — 100 с.
3. Теплофизические измерения и приборы / Е.С. Платунов, СЕ Буравой, В.В. Куперин, Г.С. Петров; под общ ред. Е.С. Платунова. — Ленинград: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1986. — 256 с.
4. Лукичева, Н.С. Многослойные материалы для теплозащиты / Н.С. Лукичева, В.В. Марценюк, А.А. Лысенко, А.С. Беспалов, Д.Я. Баринов // Композиты и наноструктуры. — 2020. — Том 12. — № 1 (45). — С. 14-20.



КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Шестнадцатая международная специализированная выставка

26 - 28 марта 2024

Россия, Москва,
ЦВК «Экспоцентр», павильоны 1 и 5



Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: смолы, добавки, термопластики, углеродное волокно и т.д.
- Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик, углепластик, графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК) и т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Технологии производства композитных материалов со специальными и заданными свойствами
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Сертификация, технический регламент
- Компьютерное моделирование
- Утилизация



выставка
участник
системы



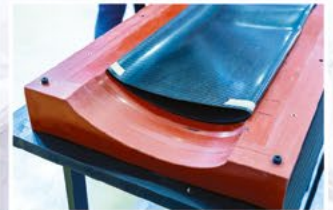
независимый
выставочный
аудит

Параллельно проводится выставка:



ПОЛИУРЕТАНЭКС

Пятнадцатая международная специализированная выставка
www.polyurethanex.ru



Специальный
раздел:
**КЛЕИ И
ГЕРМЕТИКИ**



Информационная поддержка:



Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»
115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд,
дом 7, строение 10, офис 507 | Тел.: 8 495 988-1620
E-mail: info@composite-expo.ru | Сайт: www.composite-expo.ru

Организатор:

youtube.com/user/compoexporussia @compoexporus @ocompo



О. И. Гладунова
А. А. Лысенко
кафедра НВКМ, СПбГУПТД

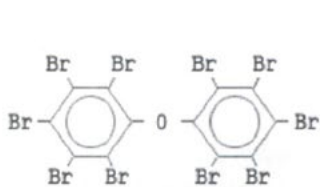


Как нанодобавки повышают огнестойкость технических волокон

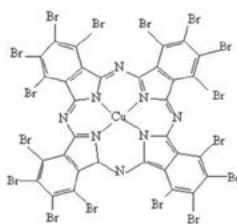
Современное научное сообщество признает необходимость модификации существующих полимерных волокон и материалов из них с целью придания им дополнительных эксплуатационных и технологических свойств. Так с помощью модификации можно повысить устойчивость к термической, термоокислительной, фотохимической деструкции; увеличить усталостную прочность; придать цветность, матовость, повысить степень белизны, придать бактерицидные,

огнестойкие и другие свойства [1].

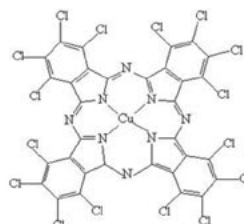
Модификацию волокон проводят на разных этапах производства: во время синтеза волокнообразующего полимера; в процессе переработки полимера в волокно или нить; на стадии заключительной отделки сформованного волокна или непосредственно перед использованием готового волокна. Выбор метода модификации зависит от строения полимера и других компонентов материала, экономических аспектов и



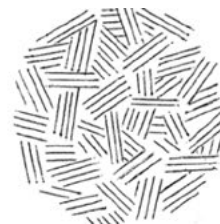
Декабромодифенилоксид
(АП1)



Br-содержащий
фталочаниновый
Комплекс (АП2)

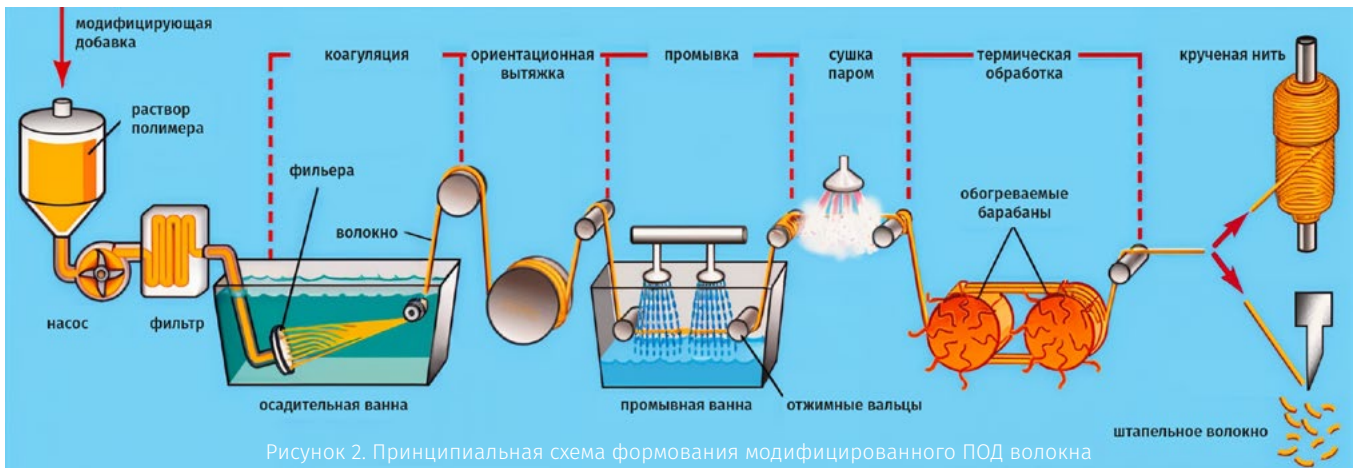


Cl-содержащий
фталочаниновый
Комплекс (АП3)



Технический углерод
(АП4)

Рисунок 1. Модифицирующие антипирены (АП) добавки



конечного использования готового материала.

Одним из новых и мало-разработанных вариантов модификации полимерных материалов является модификация за счет введения нанодобавок – дисперсий с размером частиц менее 100 нм (или близкими к этой величине) в раствор полимера до формования. В качестве нанодисперсий могут выступать соли, оксиды металлов, такие углеродные частицы, как сажи, фуллерены, нанотрубки. Теоретически размер частиц и высокая удельная поверхность при их равномерном распределении в объеме должны способствовать улучшению свойств даже при снижении их концентрации в полимерах [2].

Основная задача настоящей работы состояла в получении модифицированных нано- и микродобавками полиоксидазольных (ПОД) волокон, с целью повышения их огнестойкости, изучении структуры и механизма действия нанодобавок.

В соответствии с поставленной задачей, предстояло провести поиск модифицирующих добавок, которые были бы устойчивы и хорошо растворимы в серной кислоте и растворах ПОД в серной кислоте; прочно закреплялись бы в структуре полимерных волокон и не вымывались из полимера в процессе коагуляции, нейтрализации и промывки; сохраняли бы свойства после кратковременного воздействия температур в интервале 400–500°С, при термической вытяжке волокон; добавки, в конечном итоге, не должны снижать физико-механических показателей готовых волокон

и должны быть доступны и недороги.

После предварительных экспериментов в качестве модифицирующих (АП) добавок для повышения огнестойкости ПОД волокон были выбраны добавки, представленные на рисунке 1. Все они удовлетворяют указанным выше требованиям.

Модифицирующая добавка вводится в реактор после загрузки половины (по массе) прядильного раствора, необходимого для проведения экспериментальной наработки. Добавка вводится небольшими порциями вместе с оставшейся частью полимера, для улучшения диспергирования её в массе прядильного раствора. После окончания загрузки реактор закрывается, и начинается цикл перемешивания, который длится в среднем 6 часов при температуре 60°С. Далее, после стадии фильтрации, гомогенизирования и обезвоздушивания прядильный раствор поступает на формование.

В соответствии с технологической схемой, формование полиоксидазольных (ПОД) волокон ведется из 5–6% растворов полимера в 98 % серной кислоте. Осаждение прядильных растворов проводится в ванне с 72% серной кислотой. Затем свежесформованные волокна (нити) отмывают последовательно раствором бикарбоната натрия, водой, сушат и подвергают термовытяжке. Принципиальная схема формования модифицированного ПОД волокна представлена на рисунке 2.

На рисунке 3 приведена схема, которая демон-

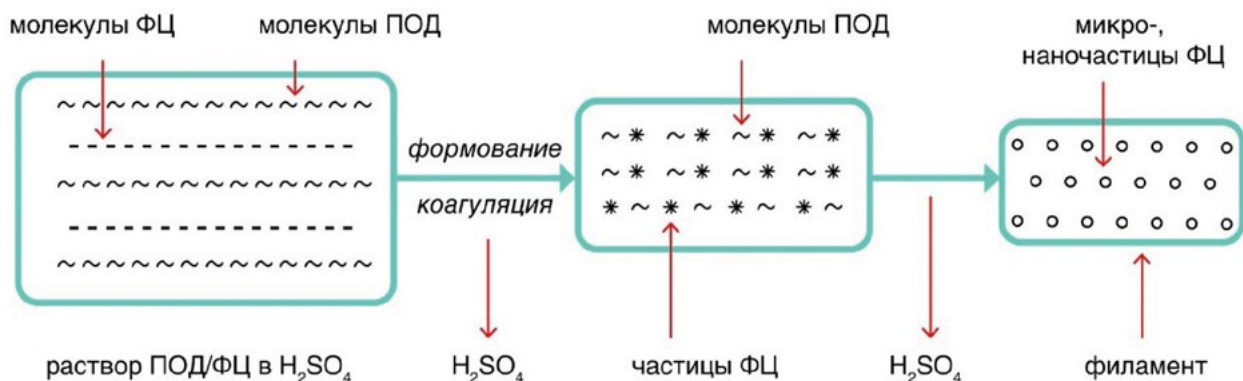


Рисунок 3. Схема образования нано- и микрочастиц в объеме филaments

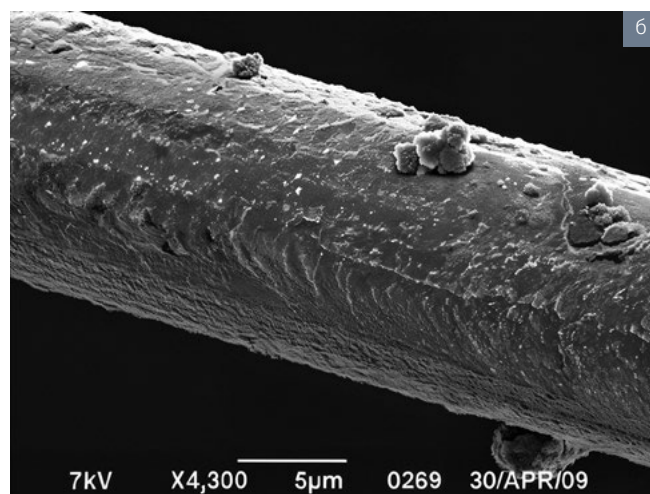


Рисунок 4. а — предполагаемая схема распределения модифицирующей добавки по поверхности филамента, б — фото, демонстрирующее морфологию поверхности филамента ПОД волокна с модифицирующей добавкой АП2

Таблица 1. Физико-механические и термические характеристики модифицированных ПОД волокон

Показатели	Вид добавки				
	без добавки	АП1	АП2	АП3	АП4
Фактическая линейная плотность, текс	149	150.8	145	132	145
Кондиционная линейная плотность, текс	144.1	146.2	143	130	142
Разрывная нагрузка, Н	53 ±10	56 ±10	49 ±10	25 ±10	52 ±10
Удельная разрывная нагрузка, мН/текс	365 ±10	377 ±10	372 ±10	363 ±10	360 ±10
Разрывное удлинение, %	16 ±0.4	17 ±0.4	17 ±2	18 ±2	17.4 ±2
Термостойкость, %	55 ±3	70 ±4	78 ±4	56 ±4	84 ±4
Кислородный индекс, %	24 ±2	29 ±2	34 ±2	27 ±2	30 ±4

стрирует образование нано- и микрочастиц в объеме филаментов. Формование ведется из раствора серной кислоты и, как показано экспериментально, находящиеся в растворе фталоцианины имеют большее сродство к полимеру, чем к серной кислоте.

После вымывания серной кислоты добавка остается в полимере. Ее концентрация в полимере нарастает и происходит самосборка частиц от молекул к микро- и нано- частицам.

Для оценки качества волокна и изменения морфологии при введении добавки модифицированные волокна и нити были исследованы с помощью электронного микроскопа марки JSM 35C японской фирмы «JEOL».

Исследуемые филаменты содержат до 10% мо-

дифицирующих добавок. На фотографии видно, что модифицирующие частицы распределены равномерно по поверхности филамента, как в виде наночастиц, так и в виде агломератов в диапазоне 300-370 нм. Введение модифицирующей добавки не изменяет морфологию волокна, волокна не имеют поверхностных дефектов (разрывов, пор, сколов). Модифицированное волокно имеет толщину около 12 мкм, у исходного толщина около 9 мкм (Рис. 4, б).

В ходе работы были выдвинуты предположения о механизме замедления горения модифицирующими нанодобавками, распределенными по всему объему полимера (рис. 4, а). Принцип действия добавок состоит в следующем: молекулы добавок, содержащие от 10 до 16 атомов Br или Cl, разлагаются при T 350°C,

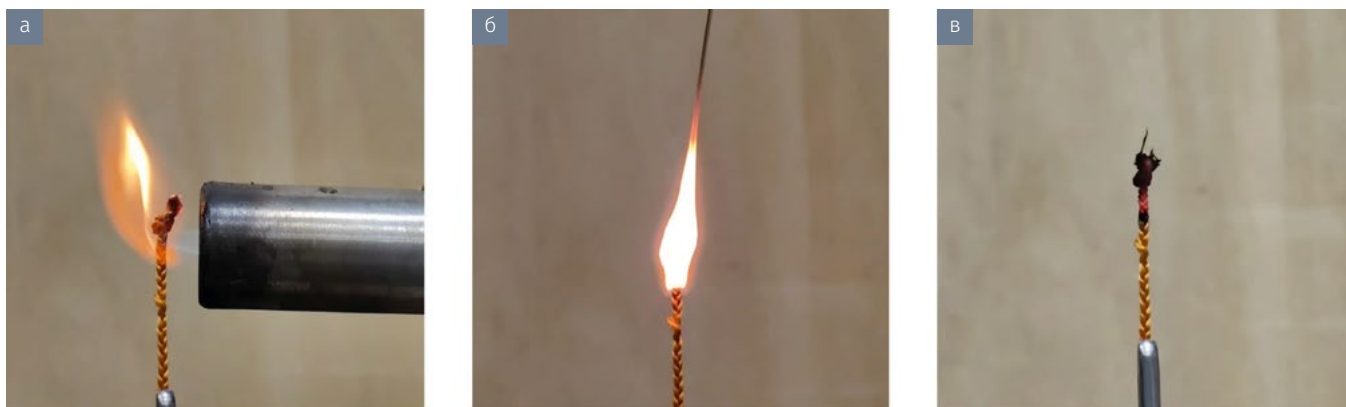


Рисунок 5. Характер горения исходного ПОД волокна: а — момент поднесения пламени, б — через 3 секунды, в — через 5 секунд.

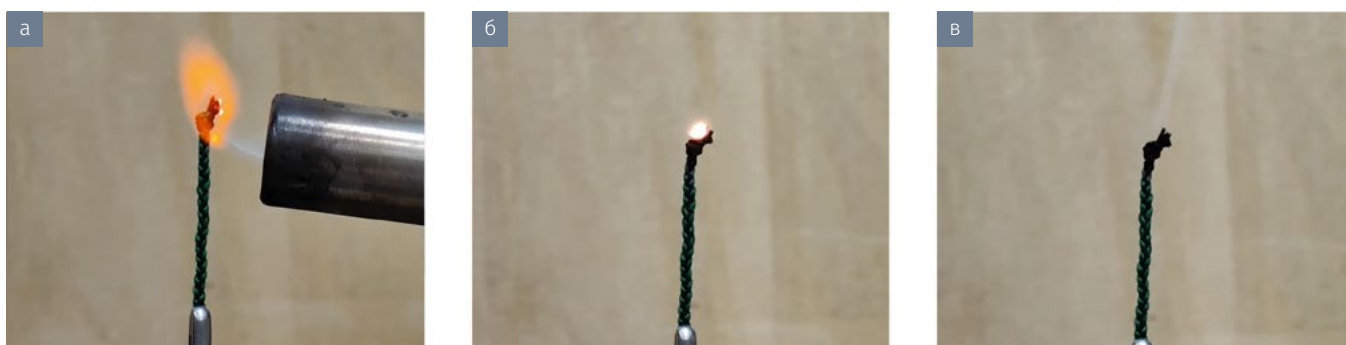


Рисунок 6. Характер горения ПОД волокна, модифицированного добавкой АР2: а — момент поднесения пламени, б — через 3 секунды, в — через 5 секунд

то есть до температуры деструкции полимера, выделяются соединения Cl или Br , которые не поддерживают горение и таким образом защищают полимер.

По-видимому, полимерные макроцепи находятся как бы между слоями антипирена, и при нагревании выше температур термодеструкции будет происходить рассеивание тепловой энергии на введенных наночастицах добавки и замедление теплообмена, а при вспучивании наночастиц, образовавшаяся твердая пена предотвращает проникновение кислорода в структуру и защищает от теплообмена.

В таблице 1 приведены основные технические показатели нитей из ПОД с 5% содержанием добавок и контрольных нитей без добавок. Анализ полученных результатов показывает, что прочностные характеристики экспериментальных образцов в среднем находятся на уровне контрольных; разрывное удлинение нитей с добавками несколько выше, чем у стандартных образцов; термостойкость модифицированных волокон выше или значительно выше, чем у стандартных нитей; кислородный индекс лежит в пределах 27–34%, что значительно превышает этот показатель для нитей без добавок.

Однако нормы пожарной безопасности при изготовлении, например, одежды для пожарных требуют не только повышенного КИ, но и устойчивости к однократному воздействию открытого пламени, отсутствию тления и дымовыделения. Нами показано, что все модифицированные волокна устойчивы к действию открытого пламени в течение 5 секунд и более, что соответствует нормам, указанным в ГОСТ Р 53264-2019 «Одежда пожарного специальная

защитная». Текстильные материалы, выполненные из таких волокон, могут быть рекомендованы для изготовления боевой одежды пожарного 1 и 2 классов [3]. Кроме этого, образцы ПОД нитей с микро- и нанодобавками АР1 и АР2 продемонстрировали нулевое остаточное тление, что соответствует самым высоким показателям, указанным в ГОСТ 11209-2014 «Ткани для специальной одежды. Общие технические требования» [4]. **КМ**

Список литературы

1. Перепелкин К. Е. Принципы и методы модифицирования волокон и волокнистых материалов (обзор). Химические волокна, 2005, № 2, с. 37–51.
2. Химические волокна: основы получения, методы исследования и модифицирование: учебное пособие для химико-технологических факультетов высших учебных заведений / под ред. Т.В. Дружининой. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2006. – 472 с.
3. ГОСТ Р 53264-2019. Одежда пожарного специальная защитная: Общие технические требования. Методы и испытания: дата введения 2019/ Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 45 с.
4. ГОСТ 11209-2014. Ткани для специальной одежды: Общие технические требования. Методы и испытания: дата введения 2015/ Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 45 с.

Сферопласты и проблемы их утилизации

Е. П. Ширшова
А. А. Лысенко
кафедра НВКМ, СПбГУПТД

Строительством человек занимается уже много тысяч лет. Строит дома, сооружения, мосты, машины, самолеты, корабли, произведения искусства и многое, многое другое. И все эти годы старается модернизировать и улучшить материалы и сам процесс создания, а требования к готовым постройкам и изделиям остаются такие же, как и раньше: прочность, долговечность, легкость конструкции, простота исполнения. Облегчать конструкции можно несколькими способами, один из них — создание воздушных полостей внутри изделия, не снижающих прочностных характеристик конечного изделия [1].

Полости внутри конструкции могут быть непрерывными по всей длине изделия (к примеру, полый кирпич, полые отделочные панели), могут быть равномерно распределены по всему объему (газобетон) или представлять собой сотовые композиции. Все эти материалы находят свое применение, но у них существуют и отрицательные свойства, которые сокращают сферы применения. К примеру, чтобы улучшить звуко- или теплоизоляцию строительных панелей, повысить прочностные характеристики сотовых панелей полости могут быть заполнены синтактными или другими видами пен.

Синтактные пены или сферопласты — это вид газонаполненных композиционных материалов, наполнителями в которых служат различные полые сферические частицы, равномерно распределенные в

полимерном связующем. Чаще всего данный вид композитов находит применение в авиа- и судостроении, строительстве, так как изделия отличаются не только хорошими теплоизоляционными характеристиками, но и высокой плавучестью с низким коэффициентом влагопоглощения [2].

Синтактные пены нашли свое применение не только, как наполнители внутреннего пространства монолитных изделий, но и как самостоятельные материалы для создания макетов в натуральную величину (прототипирование), технической оснастки для полимерных композиционных материалов, в качестве теплоизоляционных панелей в печах, а также для других изделий и работ, где требуется легкость конструкции при большом объеме.

В зависимости от сферы применения и требований к предъявляемым материалам состав композиций сферопласта может меняться. Наиболее широко применяются материалы на основе эпоксидных связующих, наполненных стеклянными микросферами, образующие монолитную границу раздела за счет хорошей адгезии матрицы к поверхности стекла [3].

Как и любой материал сферопласты имеют свои недостатки. Один из них, низкая сдвиговая прочность, это сильно затрудняет использование данных материалов в тонких сотовых и сэндвич панелях, а также, как самостоятельный материал в ответственных узлах и изделиях.

При создании сферопласта может образовываться не только закрытая ячеистая структура, но открытая. Материалы с открытой пористой структурой характеризуются низкой плавучестью, большой влагоемкостью, что еще больше ограничивает сферу применения и снижает ценность [4, 5].

Как и любые другие материалы сферопласты имеют конечный срок службы, а при производстве изделий образуются различные отходы синтактных пен. Учитывая, что в качестве связующего используются термореактивные смолы, то вторичная переработка данных материалов крайне затруднительна. По требованию природоохранного и санитарно-эпидемиологического законодательства [6] накопление отходов возможно на срок не более 11 месяцев, а что делать с ними дальше? Закон требует их дальнейшей сортировки, разборки, очистки и подготовки к утилизации или обезвреживанию.

Так что же делать, просто измельчить и выбросить на свалку? Сжечь? Деполимеризовать и деструктурировать? На данный момент нет ни единого мнения, ни решения данного вопроса. Вопросы по переработке, утилизации и вторичном использовании той или иной группы композитных изделий решаются в

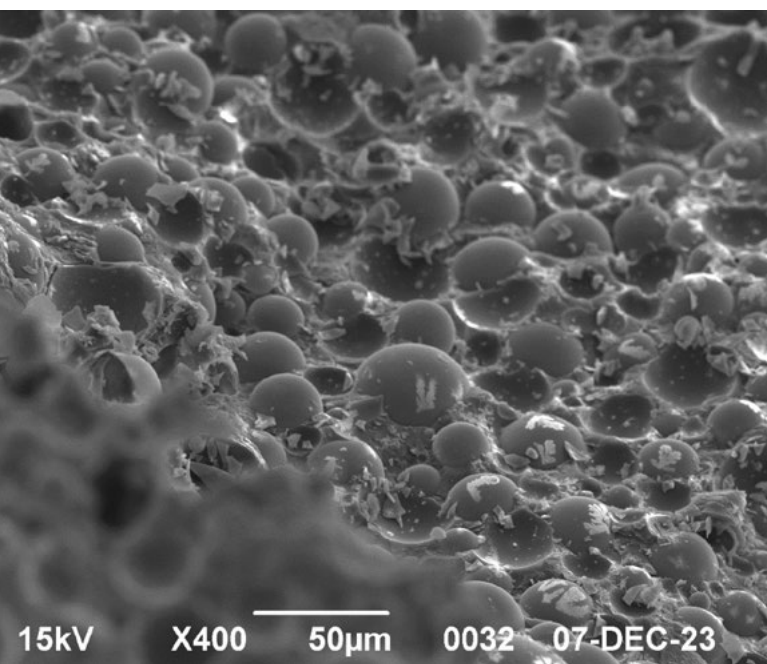


Рисунок 1. Электронная фотография поверхности сферопластика. Увеличение в 400 раз

малом и узком направлении в связи со сложностью и неоднозначностью.

Известно, что вторичные материалы сильно уступают в эксплуатационных свойствах своим предшественникам, а для получения изделий, сравнимых по качеству с первоначальными (если это вообще достижимо), требуются более дорогие технологии и тщательная подготовка исходного отработанного сырья. Наиболее частое применение изделия из вторсырья находят в таких сферах, как строительство (как наполнители строительных смесей), облицовочно-декоративных (замена дорогостоящих связующих или наполнителей) и очистных (в качестве сорбционных систем), в изделиях не требующих экстремальных нагрузок [7].

Существуют работы по утилизации отходов синтактичных пен [8], в ходе которых они измельчаются до размеров 0,5–4,0 мм, после чего добавляются в качестве наполнителя в бетонные смеси, из которых формируются плитки для создания дорожных покрытий и декорирования пешеходных дорожек. Несмотря на то, что авторы, заявляют об увеличении прочностных характеристик разработанных бетонных плит по сравнению с аналогичными изделиями, содержащими отходы горноперерабатывающих предприятий, но очевидно, что сохранить уникальность структуры полых сферы при механическом измельчении до такого малого размера невозможно. На рисунках 1 и 2 представлены электронные микрофотографии сколов сферопластика, полученные при увеличении поверхности в 400 и 900 раз. Сколы были получены одноактными ударами молотка. Видно, что даже при таком щадящем механическом воздействии большинство сфер лопнули. Можно наблюдать их остатки в виде микрочешуек стекла, загрязняющих поверхность, или лунки от них в монолитной матрице. Очевидно, что любое механическое воздействие на отходы синтактичных пен приведет к тому, что будет получена смесь крошки полимера и стекла, введение которой в строительные смеси не сильно отличается от введения любых других отходов стекломатериалов.

Поиск новых методов переработки отходов сферопластиков с сохранением уникальных свойств полых сфер является несомненно интересным и востребованным направлением для дальнейших исследований. **КМ**

Список литературы

1. Аралов, Р.С. Анализ использования облегченных конструкций монолитных плит в российской и зарубежной практике / Р.С. Аралов, В.И. Римшин // Проблемы науки. - № 7 (20), 2017. – с. 24 – 29
2. ГОСТ 32794-2014. Композиты полимерные. Термины и определения = polymer composites. Terms and definitions : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утверждено и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 октября 2014 г. № 1333-ст: введен впервые : дата введения 2015-09-01 / разработан

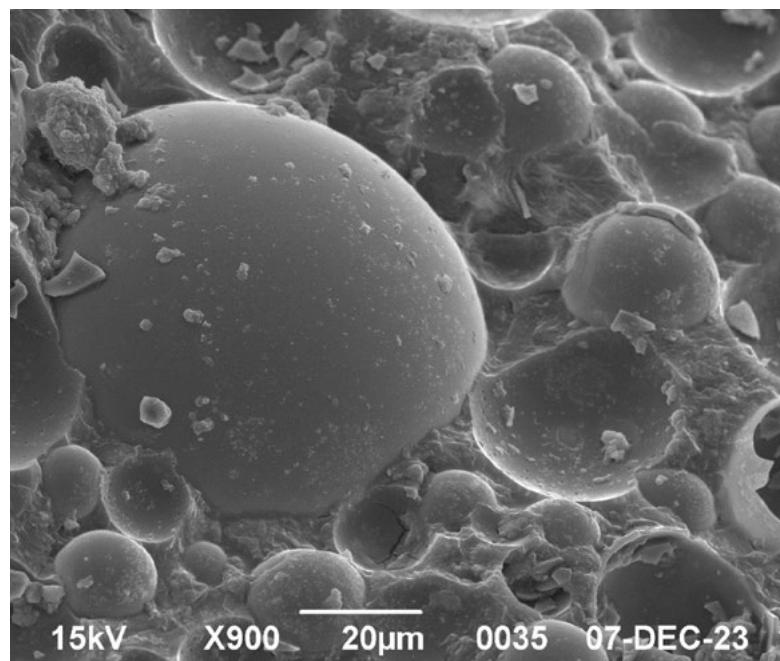


Рисунок 2. Электронная фотография поверхности сферопластика. Увеличение в 900 раз

Объединением «Союз производителей композитов» совместно с ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов». – Москва : Стандартинформ, 2015. – с. 94. – Текст : непосредственный.

3. Рыженков, А.В. Обзор связующих веществ в синтактичных пенах для теплоизоляционных конструкций объектов энергетики / А. В. Рыженков и др. // Энергетическая безопасность Союзного государства: сборник материалов секции, 6 – 11 октября 2014 года / Бел. нац. тех. ун-т «МЭИ». – Минск : БНТУ, 2014. – С. 133-145.
4. Перовская, К.А. Микросферические наполнители для пластмасс // Материалы XII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» [URL:<https://scienceforum.ru/2020/article/2018019792>] (дата обращения: 11.12.2023)
5. Чурсова, Л.В. Разработка полимерных синтактичных и пеноматериалов нового поколения с повышенными эксплуатационными характеристиками / Л.В. Чурсова, И.И. Соколов, А.И. Лукина // Изв.вузов. Химия и хим.технология. 2017, т.60, вып.2. – с. 67 – 73.
6. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления : Федеральный закон №89-ФЗ [принят Государственной думой 22 мая 1998, одобрен Советом Федерации 10 июня 1998 года с изменениями и дополнениями от 01 октября 2023 года] : [сайт]. – Москва, 2023. – URL:<https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=451776&dst=100001#eJrbdyTqE119gsEX1> (дата обращения 01.12.2023). – Текст : электронный.
7. Снежков, В.В. Полимерные отходы – в готовые изделия / В.В. Снежков, Г.В. Речиц // Твёрдые бытовые отходы, №1 (55). – 2011. – с. 16 – 19
8. Congcong, Jiang Recycling of waste ceramic foams as fine aggregates in pervious concrete/Cong Cong Jiang, Xin Cheng //The Royal Society of Chemistry Advances, 2020. - 10. – pp. 2364 – 2367

А. А. Лысенко
О. В. Асташкина
Н. В. Дианкина
кафедра НВКМ, СПбГУПТД

Химический маятник

В 2021 г. исполнилось 70 лет со дня открытия нового типа реакций, названных в последствии колебательными [1].

Реакция Белоусова-Жаботинского — это колебательная химическая реакция, открытие которой принадлежит Борису Петровичу Белоусову [2].

В 1951 г. Б.П. Белоусов изучал окисление лимонной кислоты при ее реакции с бромноватокислым натрием в растворе серной кислоты. Для усиления реакции он добавил в раствор соли церия [3]. Реакция сопровождается выделением пузырьков CO_2 , и поэтому кажется, что вся реакционная смесь «кипит». И вот на фоне этого кипения Б. П. Белоусов заметил удивительную вещь: цвет раствора периодически изменялся — становился то жёлтым, то бесцветным. Белоусов добавил в раствор комплекс фенантролина с двувалентным железом (ферроин), и цвет раствора стал периодически изменяться от лилово-красного к синему и обратно (рис. 1).

Ученым было предпринято несколько попыток опубликовать результаты исследований, однако каждый год он получал отказ. Лишь в 1959 г. был напечатан краткий реферат об открытии Б. П. Белоусовым периодически действующей колебательной химической реакции в малоизвестном издании «Сборник рефератов по радиационной медицине».

Позднее известный советский и американский физикохимик А.М. Жаботинский много сделал для понимания этого удивительного феномена. Сейчас эта реакция известна во всем мире как «реакция Белоусова-Жаботинского». С тех пор открыто большое число аналогичных реакций [4].

Для многих биологических систем характерны происходящие в них колебательные процессы при

постоянных внешних условиях. Примером этого может служить сердцебиение. Все живые организмы двигаются благодаря превращению химической энергии в механическую работу, выражающейся, например, в сокращении мышц.

В работе [5] в качестве источника химической энергии восприимчивых гелей используется колебательная реакция Белоусова-Жаботинского.

Под руководством д.х.н., проф. Н.Г. Рамбиди (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) С.Г. Уляхин показал в работе [6] использование динамических режимов реакции Белоусова-Жаботинского в обработке изображений.

Проведение исследований в этой области открывает огромные перспективы по созданию принципиально новых методик анализа микроколичеств веществ, а также выделения различных элементов из смесей.

Сотрудники кафедры наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов им. А. И. Меоса Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна не первый год занимаются как изучением, так и разработкой углеродных волокнистых сорбентов [7, 8]. В работе [9] отмечается, что углеродные сорбенты, благодаря высокой удельной поверхности, развитой пористой структуре и активным функциональным группам (рис. 2) являются перспективными материалами для удаления тяжелых металлов из водных сред. Как особую группу сорбентов выделяют — активированные углеродные волокнистые материалы (АУВМ). Использование АУВМ лишено недостатков, которые могут быть связаны с растворением в агрессивных средах при их эксплуатации (цеолиты), чрезмерным набуханием и, как следствие этого, с затрудненностью

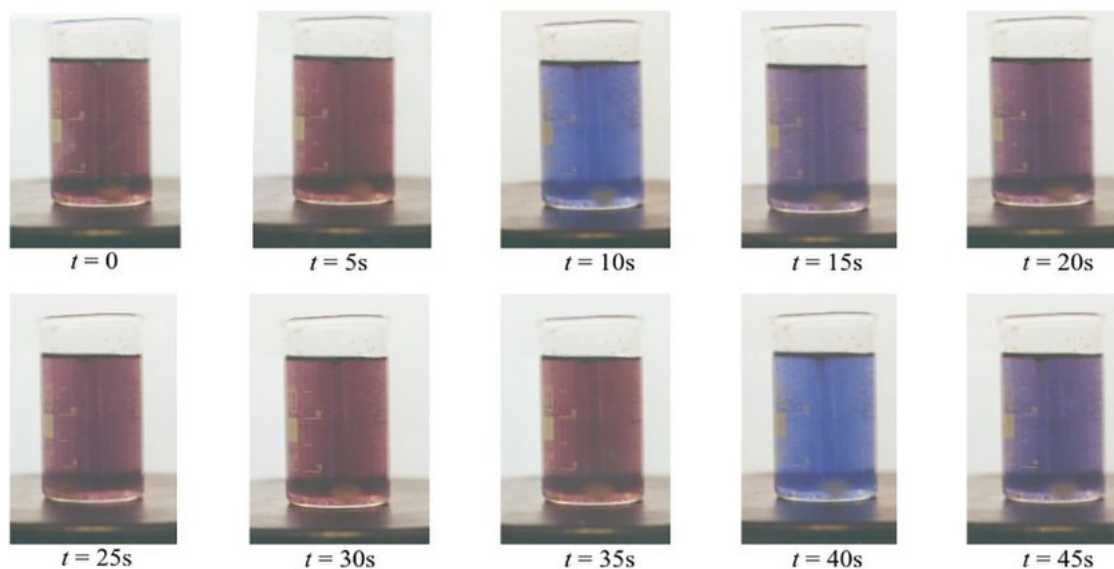


Рисунок 1.
Изменение
цвета жидкости
в течение 45 секунд

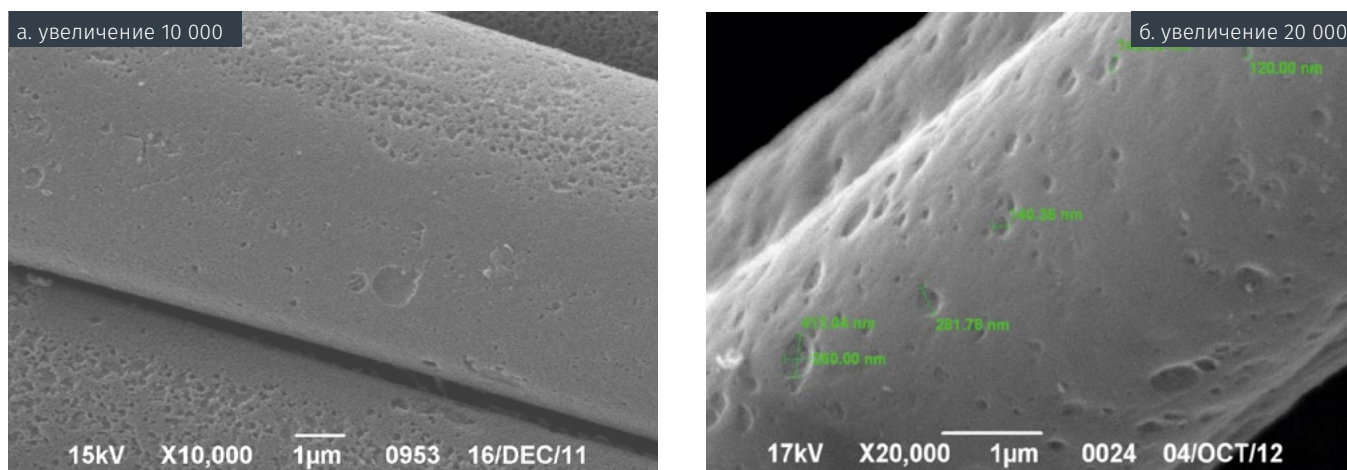


Рисунок 2. Морфология активированных углеродных волокон при различном увеличении

движения потока воды при ее динамической очистке (иониты), разрушением, истиранием сорбента (угли).

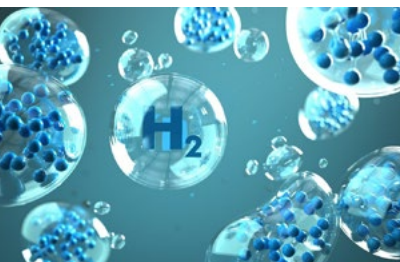
Авторами работ [10, 11] представлены результаты по сорбции ионов тяжелых металлов (Cu^{+2} , Ni^{+2} , Fe^{+3}) активированными углеродными волокнами и модифицированными углеродными волокнами, где отмечается неестественный ход кривых сорбции в зависимости от времени для всех сорбентов. В интервале времени 0–60 мин кинетическая кривая, т.е. зависимость величины сорбции от времени, носила ярко выраженный колебательный характер, а именно в процессах поглощения ионов наблюдался эффект десорбции некоторых металлов после того как сорбционная емкость достигала определенной максимальной величины, а затем процесс сорбции возобновлялся и сорбционная емкость вновь достигала того же значения, что и в первой фазе процесса. В некоторых случаях величина адсорбции была значительно выше. Такое явление наблюдалось во всем диапазоне исследованных концентраций от 0,5 мг/дм³ до 5 мг/дм³, а наиболее заметными эти колебания были при увеличении концентрации конкурирующих ионов.

Авторами исследований высказано предположение, что аномальный ход кривых сорбции может быть связан с перестройкой структуры сорбента и сорбата, а также с изменением заряда поверхности сорбента.

В настоящее время кинетика колебательных реакций – бурно развивающаяся отрасль знаний, возникшая на стыке множества наук. Это открытие прошло свой тернистый путь, и, в конце концов, заняло достойное место в мировой науке. А сама возможность такой реакции ещё раз доказывает, что в нашем мире существует ещё очень много неизведанного и неизученного. **КМ**

Список литературы

1. Прилепская Л.Л., Старикова Е.Ю. к 60-летию открытия колебательных реакций // Вестник Кузбасского Государственного Технического Университета. – 2012. - №1. – С. 111-113
2. Реакция Белоусова-Жаботинского / [Электронный ресурс] // Википедия : [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Реакция_Белоусова_—_Жаботинского (дата обращения: 06.10.2023).
3. Филд Р., Бургер М. Колебания и бегущие полны в химических системах. Под редакцией д-ра физ.-мат. наук, проф. А.М. Жаботинского — М.: Мир, 1988. — 720 с.
4. Белоусов, Б.П. Периодически действующая реакция и её механизм // Сборник рефератов по радиационной медицине за 1958 г.. - М.: Медгиз, 1959. - С. 145.
5. Из истории открытия и изучения автоколебательных процессов в химических системах: к 50-летию открытия реакции Белоусова-Жаботинского / [Электронный ресурс] // InfoSci Team : [сайт]. — URL: <https://infosci.narod.ru/chemistry/010616-1p.html> (дата обращения: 06.10.2023).
6. Уляхин С. Г. Сложные динамические режимы реакционно-диффузионных сред типа Белоусова-Жаботинского и обработка изображений: Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Москва, 2006. 122 с.
7. Лысенко А.А. Перспективы развития исследований и производства углеродных волокнистых сорбентов [Текст] // Химические волокна. – 2007. - №2. – С.4-11.
8. Дрогобужская, С. В., Русова, Н. В. Сорбционные свойства активированного углеродного волокнистого материала по отношению к благородным металлам [Текст] / С. В. Дрогобужская, Н. В. Русова // Дизайн. Материалы. Технологии. — 2013. — № 5 (30). — С. 43-47.
9. Русова, Н. В., Асташкина, О. В., Лысенко, А. А. Углеродные сорбенты как перспективные материалы для удаления тяжелых металлов из водных сред [Текст] / Н. В. Русова, О. В. Асташкина, А. А. Лысенко // ВЕСТНИК СПГУТД. — 2013. — № 4. — С. 7-11.
10. Русова, Н. В., Асташкина, О. В., Лысенко, А. А. Свойства углеродных сорбентов для тонкой доочистки воды [Текст] / Н. В. Русова, О. В. Асташкина, А. А. Лысенко // Дизайн. Материалы. Технологии. — 2013. — № 5 (30). — С. 107-110.
11. Русова Н.В., Асташкина О.В., Туркунова Е.Д., Лысенко А.А. Изучение кинетики сорбции ионов железа углеродными сорбентами [Текст] / Н.В. Русова, О.В. Асташкина., Е.Д. Туркунова, А.А. Лысенко // Дизайн. Материалы. Технологии. — 2014. — № 5 (35). — С. 131-135.



Углерод для водородной энергетики

Ю. Ю. Вилачева
А. А. Лысенко
кафедра НВКМ, СПбГУПТД

Углеродные волокнистые материалы (УВМ) в настоящее время являются одними из самых перспективных наполнителей композиционных материалов, используемых в различных сферах: медицине, строительстве, авиа- автомобилестроении, ракетно-космической отрасли, энергетике и т.д.

На кафедре наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов им. А.И. Меоса активно ведутся работы по изучению свойств УВМ, их модифицированию и использованию в качестве наполнителей композитов для дальнейшего внедрения в различных областях народного хозяйства. В данной статье будут рассмотрены две области применения УВМ — газодиффузионные слои топливных элементов в водородной энергетике.

В группе альтернативных источников энергии водородная энергетика в течение последних десятилетий является одной из наиболее активно развивающихся.

Это обстоятельство связано с частичной декарбонизацией (снижением выбросов парниковых газов в атмосферу) мировой промышленности и поиском более экологичных видов топлива. Водородное топливо является экологически чистым, в продуктах его распада отсутствуют оксид и диоксид углерода (основные парниковые газы), а превращение химической энергии связей водорода осуществляется напрямую в полезную электрическую в процессе протекающей электрохимической реакции. Устройство, в котором происходит выработка электрической энергии напрямую из химической, называется топливным элементом (ТЭ). ТЭ представляют собой бесшумные, высокоэффективные (КПД достигает 80 %), надежные и долговечные (нет движущихся и трущихся частей) преобразователи энергии.

Газодиффузионный слой (ГДС) является одной из структурных единиц топливного элемента, служащей для равномерного подвода реагентов (водорода и кислорода) к каталитически-активному слою; эффективной электронной проводимости, а также быстрого отведения воды как побочного продукта протекающей электрохимической реакции во избежание затопления топливного элемента и его взрыва.

На данный момент в РФ большинство компонентов топливных элементов, в том числе используемые

при сборке конечного продукта — мембранно-электродного блока газодиффузионные слои, являются импортными, а освоённая в период с 2013 по 2016 гг. опытно-промышленная технология является ресурсо- и энергозатратной за счет стадий высокотемпературной обработки препрегов (карбонизация и графитация). На рисунке 1 представлена данная технологическая схема получения ГДС в виде углерод-углеродных композитов (УУКМ).

В настоящем исследовании получение ГДС осуществляется в виде композитов по ресурсосберегающей технологии на основе отечественного сырья. Применение фторполимерных связующих, совместно с электропроводящими углеродными волокнистыми материалами позволяет получить хемостойкие, гидрофобные, токопроводящие и высокопористые композиты.

Согласно разработанной технологии, формирование высокопористой, токопроводящей структуры происходит на стадии получения углеродного волокнистого материала, а достижение гидрофобности реализуется за счет нанесения микро- и наноразмерных частиц фторопласта на поверхность углеродных волокнистых подложек.

К преимуществам разрабатываемой технологии следует отнести: возможность использования только отечественного сырья; значительное сокращение длительности процесса изготовления УУКМ (на 70% по сравнению с предшествующей технологией); себестоимость конечного продукта (от 10 \$ за 1 м²) на 40% ниже ГДС в виде УУКМ; отсутствие стадий высокотемпературной обработки материалов — использование более доступного оборудования; варьирование свойств получаемых ГДС. Дополнительным преимуществом разрабатываемой технологии является возможность использования всех типов волокнистых углеродных наполнителей — ткань, нетканый материал, бумага, а также фторопластовых связующих различных марок. Это позволяет получать ГДС с регулируемыми эксплуатационными характеристиками: толщина, пористость, поверхностная плотность, электрическое сопротивление и др. Может быть получена широкая линейка ГДС, свойства и строение которых будут отвечать конкретным требованиям, предъявляемым к



Рисунок 1. Внедренная ранее технологическая схема производства ГДС в виде УУКМ

Таблица 1. Сравнение эксплуатационных характеристик полученных ГДС и промышленно выпускаемых аналогов

Производитель	Марка	Тип наполнителя	Толщина, мкм	Пористость, %	Удельное электрическое сопротивление, мОм/см ²
Toray	TGR-H-60	Бумага	191 ±6	77 ±2	7,3 ±2
Hollingsworth &Vose	GDL 75-8-UC	Бумага	177 ±5	76 ±2	14,2 ±2
Ballard	P 50T	Бумага	163 ±5	77 ±2	34,5 ±2
Ballard	AvCarb 1071 HCB	Ткань	244 ±9	79 ±2	12,6 ±2
E-ТЕК	B-1/A	Ткань	367 ±12	74 ±2	17,9 ±2
ГДС-НВКМ-1	ПКМ (Ф-1 30 масс. % + УНТ 1,5%)	Бумага	200 ±2	72 ±2	30,8 ±2
ГДС-НВКМ-2	ПКМ с содержанием Ф-2 38 масс. %	Нетканый материал	220 ±2	76 ±2	32,9 ±2

энергетическим установкам, работающим в различных условиях и системах.

Результаты сравнения характеристик ГДС, полученных по новой технологии, разрабатываемой на кафедре НВКМ им.А.И.Меоса (ГДС-НВКМ-1 и ГДС-НВКМ-2) с промышленными аналогами представлены в таблице 1.

Фотографии с электронного микроскопа (рисунок 2, 3) показали, что структура поверхности ГДС, полученных по предлагаемой технологии идентична структуре импортного аналога (ГДС марки Toray в виде УУКМ с

дополнительной гидрофобизацией). Таким образом, разработанная технология позволяет получать ГДС с более низкой себестоимостью с поверхностью и свойствами, аналогичными промышленно выпускаемым импортным продуктам.

Таким образом, разрабатываемая технология значительно удешевляет и упрощает получение ГДС, а также позволяет обеспечить высокую эффективность топливного элемента и электрический КПД установки, достигающий уровня зарубежных промышленных аналогов. **КМ**

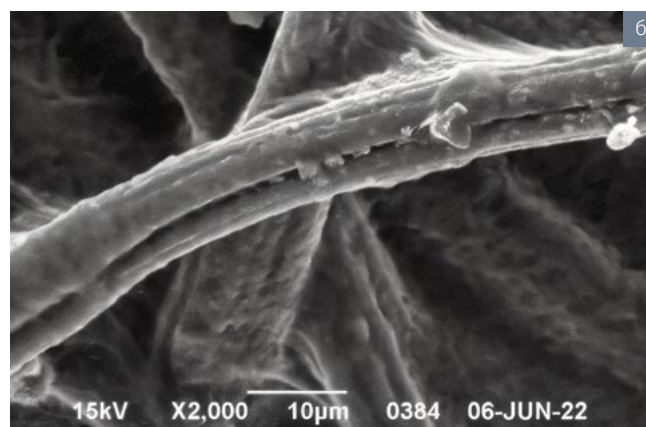
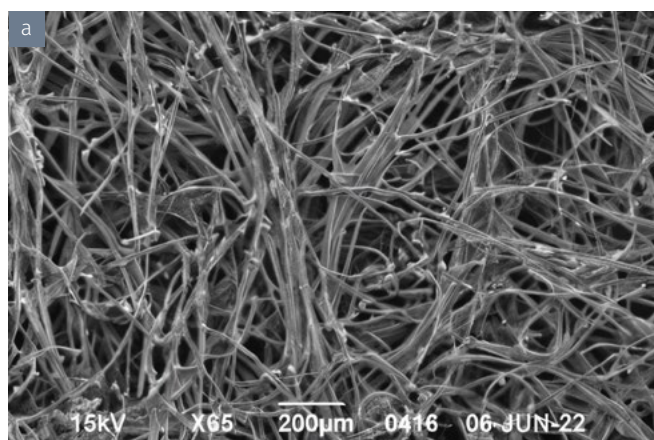


Рисунок 2. Микроструктура разработанных газодиффузионных слоев: а — увеличение в 200 раз; б — увеличение в 2000 раз

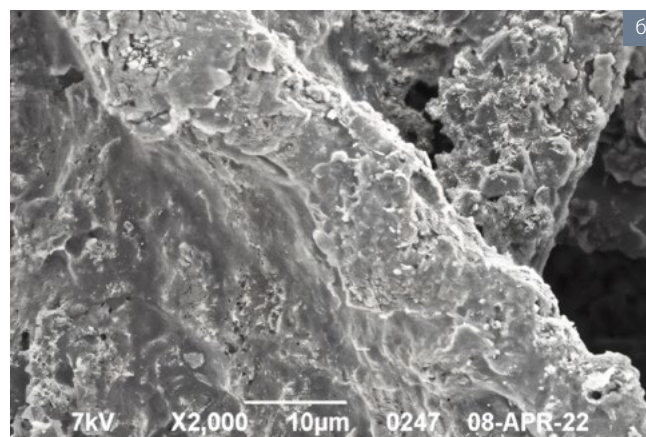
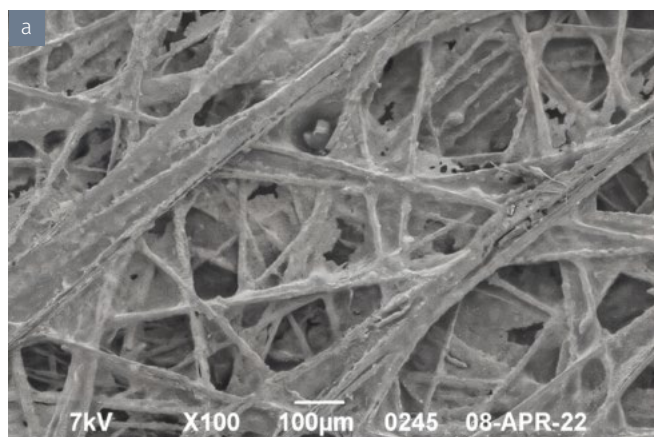


Рисунок 3. Микроструктура ГДП марки Toray: а — увеличение в 100 раз; б — увеличение в 2000 раз

Композиционные материалы медицинского назначения

В. А. Жуковский
Т. Ю. Анущенко
кафедра НВКМ, СПбГУПТД

В настоящее время, благодаря интенсивному развитию технологий медицина находится на новом уровне качества и эффективности. Совместные исследования ученых и врачей позволяют создавать уникальные изделия, используемые при замещении или восстановлении функций органов и тканей, пораженных в результате патологических процессов или травм. В большинстве случаев, разработанные материалы медицинского назначения, представляют собой композиты.

Как известно, композиционный материал (композит) — материал, изготовленный (человеком или природой) из двух или более компонентов с существенно различными физическими и/или химическими свойствами, сочетание которых, позволяет получить новое медицинское изделие с характеристиками, отличными от характеристик отдельных компонентов. Искусственно созданный композит — это неоднородный сплошной материал, который состоит из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними, одним из компонентов которого является наполнитель, другим — полимерная матрица [1].

Используя различные матрицы и наполнители, изменяя их соотношение, и другие параметры, получают широкий спектр материалов с различным набором свойств.

Концепция композиционного материала прекрасно продемонстрирована природными композитами. В качестве примера можно привести древесину, которая состоит из волокнистых цепей молекул целлюлозы в матрице органического полимерного лигнина. Другим примером природного композита являются кости, состоящие из неорганических кристаллов гидроксиапатита, в матрице из органического материала — коллагена.

Многие прорывные методы лечения стали возможны благодаря использованию композиционных

материалов медицинского назначения. В качестве примеров таких материалов можно назвать:

- имплантаты из полимерных и керамических композиционных материалов, используемые при протезировании тазобедренного сустава;
- нанокompозиты, применяемые в стоматологии для лечения и реставрационных работ;
- различные стенты (стент-графты, билиарные стенты и пр.);
- специальные композитные материалы (скаффолды) для регенеративной медицины;
- хирургические шовные материалы с различными полимерными покрытиями для ушивания ран;
- различные фиксирующие биоразлагаемые имплантаты: винты, пластины, скобы и пр.
- сетчатые эндопротезы с противоспаечными и антимикробными свойствами для реконструктивной и восстановительной хирургии;
- раневые покрытия;
- высокотехнологичное медицинское оборудование;
- медицинская одежда и упаковка.

В последнее время стентирование всё чаще становится методом выбора лечения при устранении сужений полых органов (артерии, пищевода, кишечника, желчевыводящих путей и мочеочечника), обеспечивая проходимость физиологических жидкостей.

Для хирургической коррекции заболеваний грудной аорты фирмой «МедИнж» (Россия) разработан гибридный стент-графт «МедИнж», состоящий из саморасширяющегося нитинолового стент-графта, соединенного с желатинизированным дакроновым протезом (рисунок 1 а) [2]. При лечении поражений желчных протоков фирма M.I. Tech (Южная Корея) предлагает использовать гибридный билиарный стент(ССС) HANAROSTENT® Multi-Hole™ (рисунок 1 б)

Примером скаффолдов можно назвать материалы

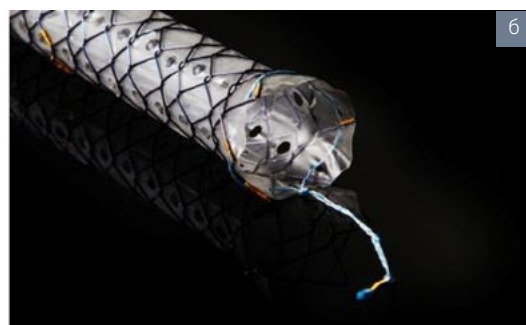


Рисунок 1. Стент-графт «МедИнж» (а), билиарный стент (ССС) HANAROSTENT® Multi-Hole™ (б)

Рисунок 2. Фотография структуры эндопротеза Ультрафлекс до разрушения рассасывающегося компонента (а) и после (б)

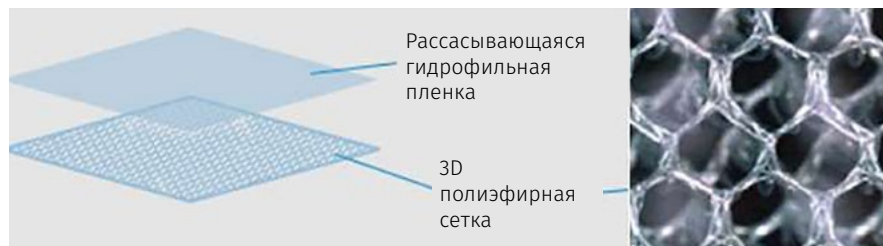
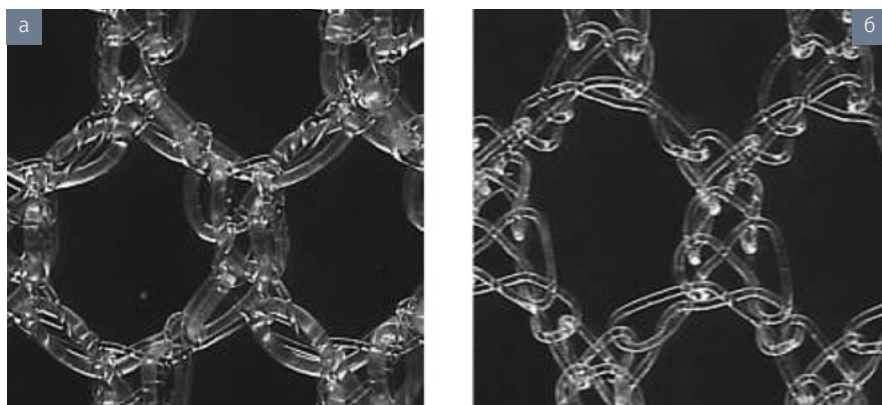


Рисунок 3. Эндопротез Parietex Composite

из тонких полимерных нитей, переплетенных между собой, которые используются в инженерии костной ткани. Они могут быть размещены в месте костного дефекта (перелома) и выполнять роль каркаса для новых костных клеток. Новая костная ткань прорастает сквозь скаффолд и заполняет место перелома. Когда кость полностью восстанавливается, полимер растворяется в организме [3].

Проблема хирургической реабилитации больных с обширными дефектами опорных мягких тканей в большинстве случаев не может быть разрешена без применения полимерных имплантатов (эндопротезов), укрепляющих эти ткани [4].

Для уменьшения массы инородного вещества в организме пациента необходимо «облегчение» эндопротезов, что достигается применением при производстве композитных сеток рассасывающихся (полилактиновых, полиглекапроновых, полилактидных) мульти- и мононитей, совместно с биорезистентными полипропиленовыми.

Основные представители композитных эндопротезов, выпускаемых зарубежными фирмами являются: Vypro, Vypro II, Ultrapro («Ethicon», США), Seramesh

(«SeragWiessner KG», Германия), Proflex («Samyang», Корея) [5].

Фирма «Serag Wiessner KG» (Германия) создала частично разрушаемый сетчатый эндопротез Seramesh из бикомпонентных псевдомононитей, в которых несколько тонких ПП мононитей находятся внутри рассасывающейся оболочки из полиглекапрона [5].

Так, например, композитный эндопротез ULTRAPRO состоит из нерассасывающихся ПП мононитей Prolene и рассасывающихся полиглекапроновых (ПГКЛ) мононитей Monocryl [6]. Аналогичный, частично рассасывающийся сетчатый эндопротез Proflex выпустила корейская фирма «Samyang» [5]. ООО «Линтекс» (Россия) разработан композитный имплантат Ультрафлекс в котором в качестве нерассасывающегося компонента использованы поливинилиденфторидные (ПВДФ) мононити, обладающие более высокой эластичностью, биологической инертностью и биорезистентностью, чем полипропиленовые [7], (рисунок 2).

Для решения проблемы спайкообразования учеными активно ведутся разработки в области создания трикотажных эндопротезов с нанесением на их

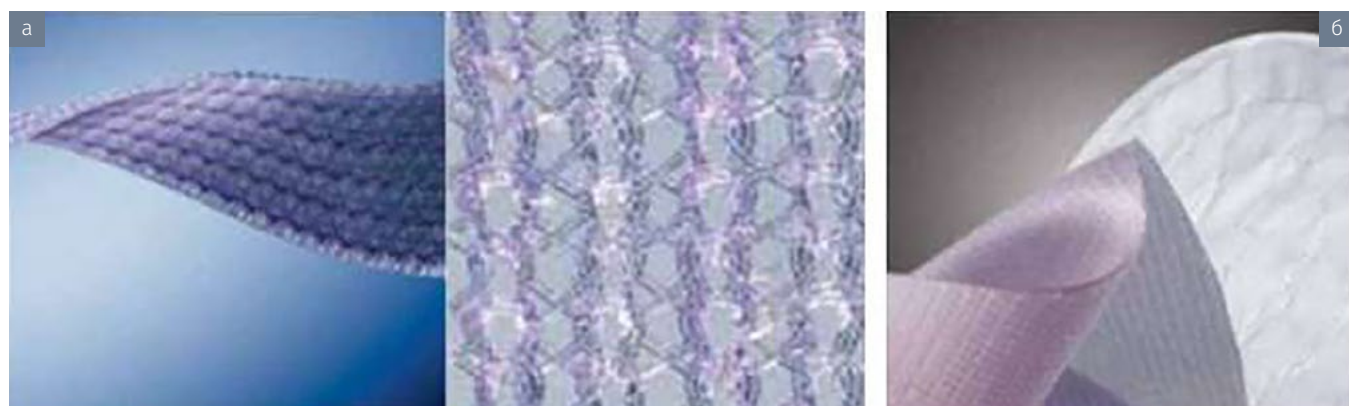


Рисунок 4. Эндопротезы Sepramesh™ IP Composite (а) и Composix™ L/P Mesh (б)

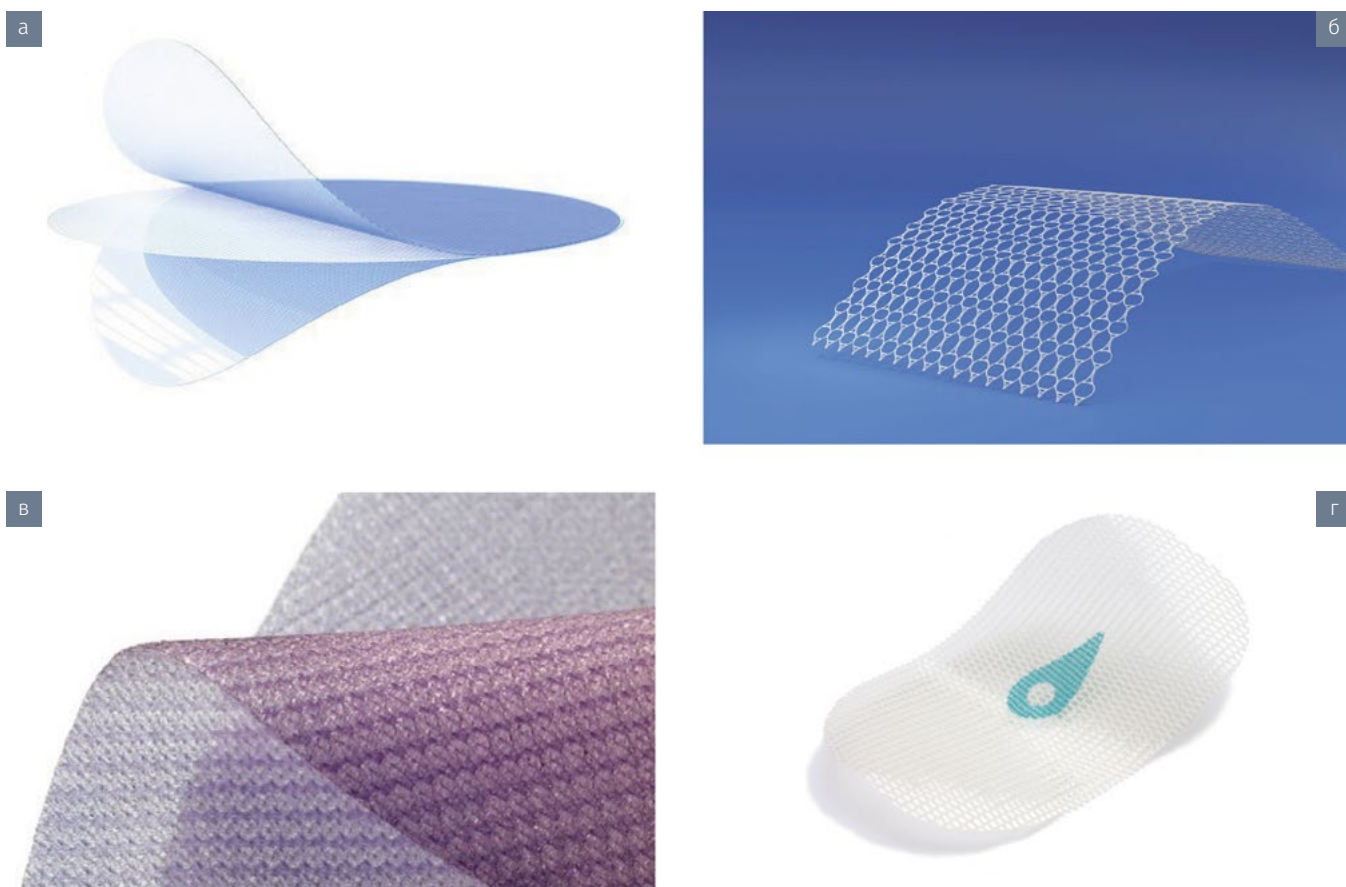


Рисунок 5. Эндопротезы РЕПЕРЕН-16-2 (а), ФТОРЭКС (б), Ventralight™ ST (в), Symbotex (г)

поверхность антиадгезионным компонентам.

Фирмой «Covidien» (США) [5] разработаны эндопротезы Parietex Composite (рисунок 3), внутренний слой которых, обращенный к брюшной полости, состоит из рассасывающейся коллагеновой пленки с добавками полиэтиленгликоля и глицерина, нанесенной на нерассасывающуюся полиэфирную объемную сетку, представляющую собой двухслойное основовязаное полотно.

Компания «C. R. Bard. Inc.» (США) [5] предлагает два вида эндопротезов с противоспаечными свойствами: Sepramesh™ IP Composite с гидрогелевым «барьерным» покрытием Seprafilm из рассасывающейся пленочной мембраны (смесь КМЦ с гиалуроновой кислотой), соединенной с ПП сеткой (рисунок 4 а), и Composix™ L/P Mesh из нерассасывающегося пленочно-пористого ПТФЭ, соединенного с легкой ПП сеткой (рисунок 4 б).

Также к композитным эндопротезам, с противоспаечными свойствами относятся сетчатые эндопротезы: РЕПЕРЕН-16-2 из полипропиленовых мононитей с антиадгезивным покрытием («Айкон Лаб», Россия) (рисунок 5 а), ФТОРЭКС из инертных лавсановых (полиэфирных) комплексных нитей с фторполимерным покрытием («Линтекс», Россия) (рисунок 5 б), Ventralight™ ST из полипропилена с покрытием из гиалуроновой кислоты и карбоксиметилцеллюлозы (Bard, США) (рисунок 5 в), Symbotex из монофиламентного полиэстера с коллагеновым покрытием (Medtronic, США), (рисунок 5 г).

Фирмой «BioHealth medical Tech. Co., Ltd» (Китай)

также разработаны и выпущены композитные эндопротезы «ProHealth™ Dual Layer Composite Mesh», состоящие из полипропиленового сетчатого полотна с поверхностным слоем из сополимера лактида и капролактона.

Получение композитных шовных материалов, возможно, например, путем нанесения полимерных покрытий (как рассасывающихся (рисунок 6), так и нерассасывающихся (рисунок 7)), что позволяет придавать волокнистым материалам улучшенные манипуляционные свойства, устранять фитильность, придавать атравматичность, вносить лекарственный препарат и повышать надежность хирургического узла [7].

В качестве композиционного материала аппликационного воздействия особое место занимают раневые покрытия. В качестве примеров можно привести разработанные ООО «Линтекс» раневые двухслойные покрытия один слой которых содержит коллаген, фурацилин и борную кислоту, а второй слой нетканый лавсановый материал в биологически активном покрытии БИАТРАВМ (рисунок 8 а), и активированная угольная ткань в репаративном сорбирующем покрытии РЕСОРБ [8].

К композитам также следует отнести и атравматичные раневые повязки Тайди Сорб Пови («Фармапласт», Египет) (Рисунок 8 б), состоящие из пленочного вязкого материала, покрытого мазью с повидон-йодом. Атравматичность повязки создается за счет поверхностного слоя, ламинированного полиэтиленовой сеткой. **КМ**

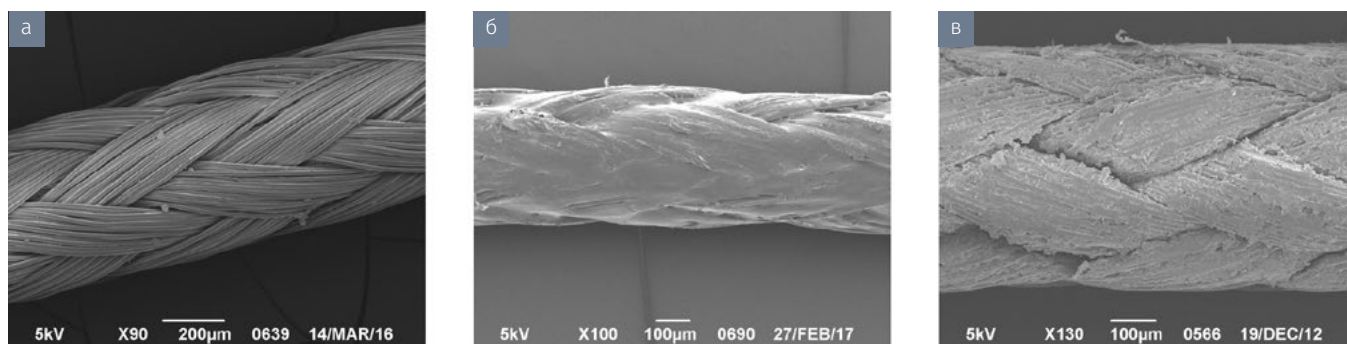


Рисунок 6. Фотографии полигликолид-лактидной нити исходной (а), с полимерным покрытием из поли-ε-капролактона с мирамистином (б), с полимерным покрытием из полигликолид-лактида с триклозаном (в)

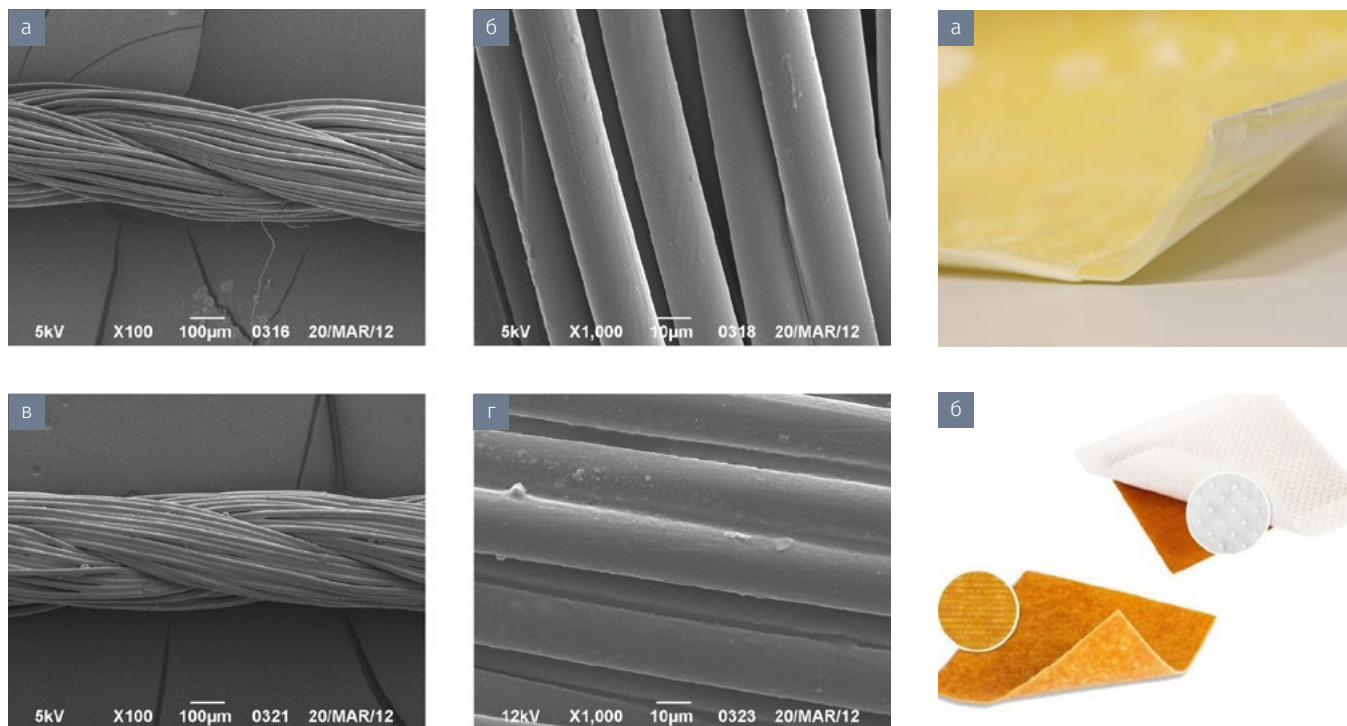


Рисунок 7. Фотографии поликапроамидных крученых нитей исходных (а, б), с фторполимерным покрытием (в, г)

Рисунок 8. Покрытие раневое, атравматическое БИАТРАВМ (а), атравматичная раневая повязка Тайди Сорб Повязка (б)

Список литературы

- ГОСТ Р 58059-2018 Наноматериалы композиционные. Связующие полимерные наномодифицированные. Типы и основные параметры.
- Kozlov B.N., Panfilov D.S., Manvelyan D.V., Sonduev E.L., Zatolokin V.V., Petlin K.A. The first results of surgical reconstruction of the aorta using the domestic aortic hybrid stent-graft MedEng. The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine. 2021;36(1):101-107.
- Бонарцев, А.П. Скаффолды на основе поли-3-оксисибутирата и его сополимеров для инженерии костной ткани (обзор) [Текст] / А.П. Бонарцев, В.В. Воинова, А.В. Волков, А.А. Мураев и др. // Современные технологии в медицине. – 2022. – Т. 14 №5. – С.78-91
- Жуковский, В.А. Полимерные эндопротезы для герниопластики [Текст] / В.А. Жуковский. – СПб.: Эскулап, 2011. – 104 с.
- Едомина, Н.А. Разработка структур и технологических процессов получения сетчатых основывязанных эндопротезов с противоспаечными свойствами [Текст] / дис.... канд. техн. наук / Н.А. Едомина. – СПб., 2014. – 202 с.
- Holzheimer, RG. First results of Lichtenstein hernia repair with ultrapro-mesh as a cost saving procedure – quality control combined with a modified quality of life questionnaire in a series of ambulatory operated patients [Текст] / RG. Holzheimer // Europ. J. Med. 2004.Vol. 9. P. 323-327.
- Жуковский, В.А. Научное обоснование и разработка технологии волокнистых хирургических материалов со специальными свойствами [Текст] / дис.... док. техн. наук / В.А.Жуковский. – СПб., 2013. – 288 с
- Лазаренко, А.В. Лечение гнойных ран с применением раневых покрытий Биатравм и Ресорб (экспериментальное исследование) [Текст] / В.А. Лазаренко, А.И. Бежин, А.З. Гусейнов и др. // Вестн. новых мед. технологий. - 2010. - Т. XVII, № 3. - С. 202-206.

Биологически активные металлсодержащие волокна. Морфология и свойства

Н. Ф. Уварова
Т. Ю. Анущенко
кафедра НВКМ СПбГУПТД

Н. Г. Медведева
И. Л. Кузикова
СПб ФИЦ РАН

Н. М. Бурмистрова
СПбГТИ (ТУ)

Статья посвящена разнообразным методам закрепления биологически активных частиц металлов на волокнистых носителях (субстратах). В качестве методов получения металлсодержащих волокнистых материалов выбраны следующие: вакуумное напыление, окислительно-восстановительная адсорбция металлов (для активированных углеродных волокнистых материалов — АУВМ), механическое закрепление частиц серебра и золота (на поверхности материалов из полипропилена — ПП и нетканого целлюлозного материала — НЦМ при фильтрации через них водных суспензий Ag^0 и Au^0), а также электрохимическое осаждение (на графитированных углеродных материалах и углеродных волокнистых материалах — УВМ)).

С использованием электронной микроскопии оценена структура металлсодержащих волокон. Установлено наличие закрепленных на их поверхности наноразмерных частиц металлов, а также бактерий и ассоциатов вирусов.

Биохимическими методами показана бактерицидная активность разработанных материалов на примере грамотрицательной бактериальной культуры *Pseudomonas fluorescens*.

Результаты исследований

В работах Асташкиной О.В. показано, что частицы серебра, иммобилизованные на поверхности субстратов,

являются сорбционно- и бактерицидно активными. Кроме того, выявлено, что такие субстраты обладают специфической сорбционной активностью по отношению к вирионам гриппа и бактериям [1–3]. На рисунке 1 приведены фотографии волокон с адсорбированными на их поверхности ассоциатами вирусов гриппа.

Установлено [4], что углеродные и поливинилспиртовые (ПВС) волокна, содержащие серебро, медь и никель являются не только сорбентами, но и проявляют биологическую активность к вирионам гриппа и белкам аллантаической жидкости (таблица 1). Заметим, что аллантаическая жидкость в вирусологии используется как питательная среда для исследования роста бактерий и вирусов.

Результаты таблицы 1 говорят о возможности эффективного разделения белков и вирусов с целью идентификации штаммов, их очистки и получения вакцин (проф. Медведева Н.Г. и проф. Асташкина О.В.).

Разработаны сорбенты, способные закреплять на своей поверхности бактерии *G. Oxidans* (рисунок 2), которые являются биокатализаторами разрушения целого ряда опасных веществ, например, тиодигликоля, который широко используют в легкой промышленности. Интерес к микробной деградации тиодигликоля связан не только с вопросом очистки от этого ксенобиотика окружающей среды, куда он попадает с производственными стоками, но и с возможностью получения технически ценных продуктов.

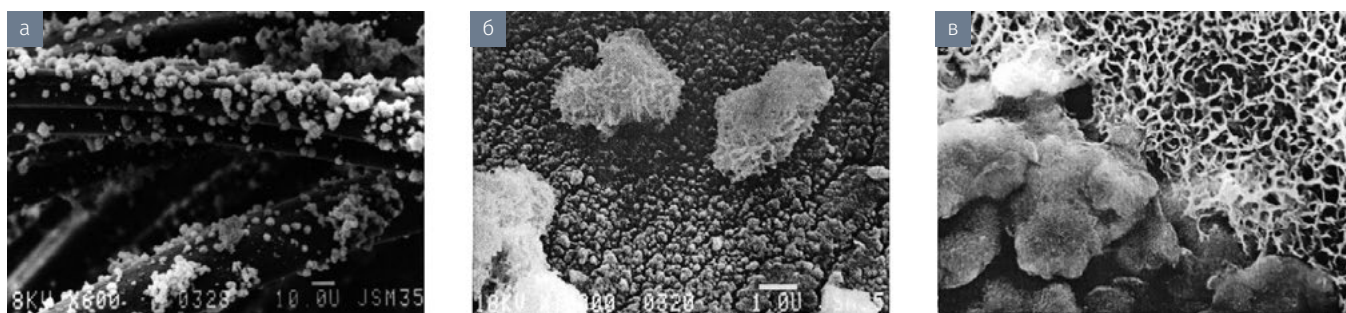


Рисунок 1. Фотографии ассоциатов вирусов гриппа на поверхности волокон:

а — общий вид ассоциатов вирусов на серебросодержащих волокнах;
б — отдельные агломераты вирионов гриппа, в — «губка» из вирионов гриппа — видны отдельные вирионы

Таблица 1. Адсорбция белков аллантаисной жидкости и вирусов различными металлсодержащими волокнами

Сорбент	Характеристика сорбента	Удельная поверхность, м ² /г	Количество сорбированного белка, мг/г	Количество сорбированного вируса гриппа, ГАЕ/г
КУВ	Карбонизованное углеродное волокно	50	0	0
АУВМ	Исходный АУВМ	110	107	0
АУВМ-Ag ⁰	Металлсодержащие АУВМ	1199	100	64000
АУВМ-Ni ⁰	Металлсодержащие АУВМ	1100	256	0
АУВМ-Cu ⁰	Металлсодержащие АУВМ	1120	100	126000
ПВС	Исходное ПВС волокно	0,06	0	0
ПВС-Ag ⁰	Металлсодержащее ПВС волокно	1,5	60	254000
ПВС-Ni ⁰	Металлсодержащее ПВС волокно	2,0	180	0
ПВС-Cu ⁰	Металлсодержащее ПВС волокно	1,5	60	254000

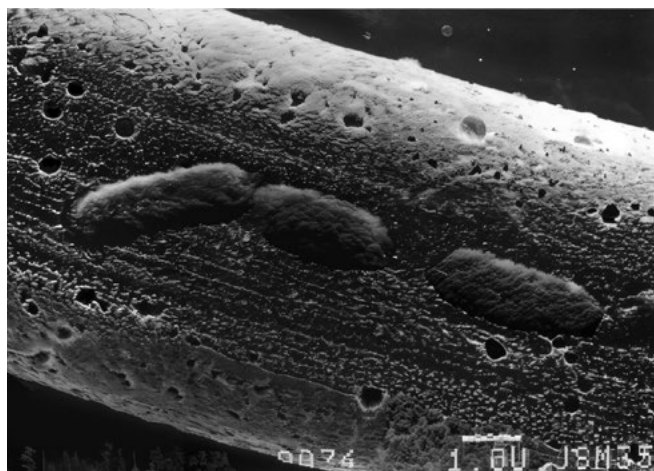


Рисунок 2. Фотография углеродного филамента с адсорбированными на их поверхности бактериями G. Oxidans

В исследованиях, выполненных под руководством проф. Жуковского В. А. показана эффективность применения покрытий из серебра при получении полимерных сетчатых имплантатов [5]. Такие композиты синтезируют как методом химического восстановления серебра, так и путем ионно-плазменного (вакуумного) напыления (рисунок 3).

Последние 15–20 лет особый интерес вызывают препараты, содержащие наночастицы золота, которые по мнению ряда авторов имеют иной механизм воздействия на патогенные организмы, нежели наночастицы серебра [6–8]. Если антибактериальный эффект серебра связан именно с воздействием ионов на белок, входящий в состав стенки бактерии, то воздействие золотых наночастиц на органические молекулы авторы работы [6] объясняют неравномерностью распределения плотности электронов в частицах

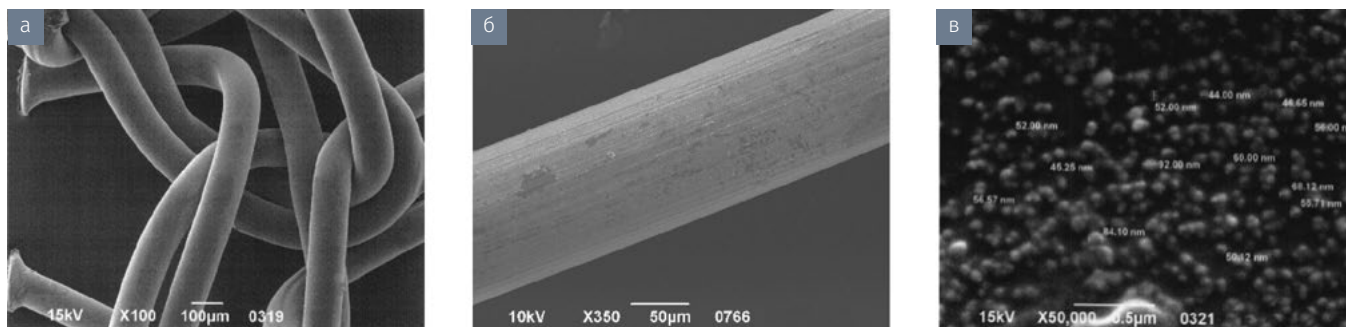


Рисунок 3. Фотографии поверхности серебросодержащих мононитей имплантатов: а — переплетение мононитей, покрытых Ag⁰; б — отдельное волокно, покрытое Ag⁰; в — сферические наночастицы Ag⁰ размерами 40–60 нм на поверхности ПП волокна

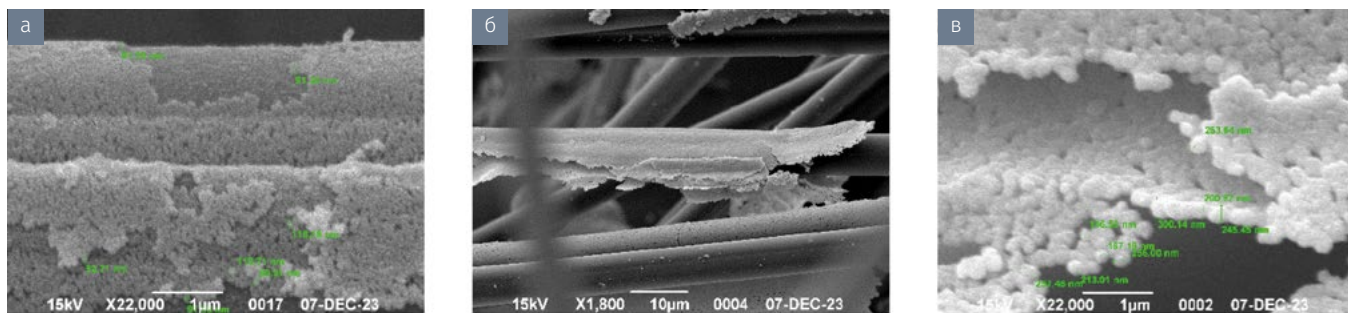


Рисунок 4. Фотографии частиц, полученных электрохимическим способом на поверхности волокон:
а, б — УВМ, покрытые наночастицами серебра размером 200–300 нм;
в — частицы золота на углеродном волокне размером около 100 нм

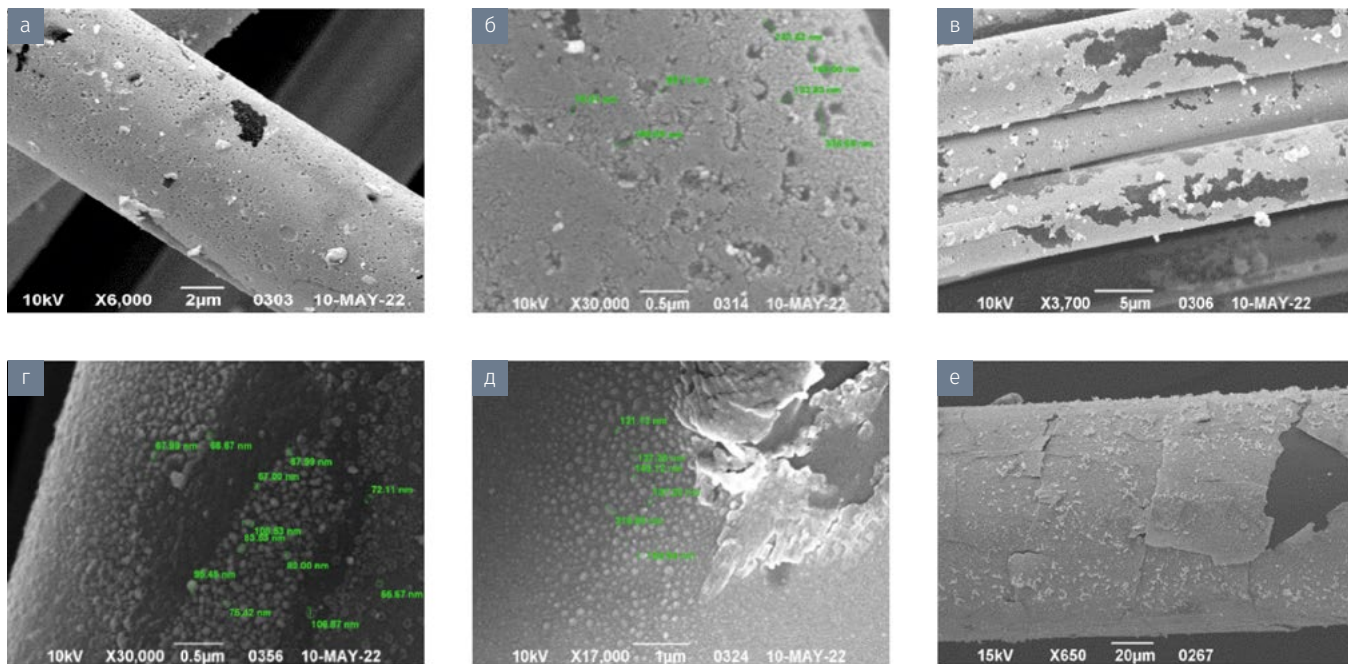


Рисунок 5. Фотографии волокон и их поверхности с нанесенными вакуумными способами частицами благородных металлов:
а, б, в — АУВМ с частицами Au⁰; г, д, е — ПП волокна с частицами Ag⁰

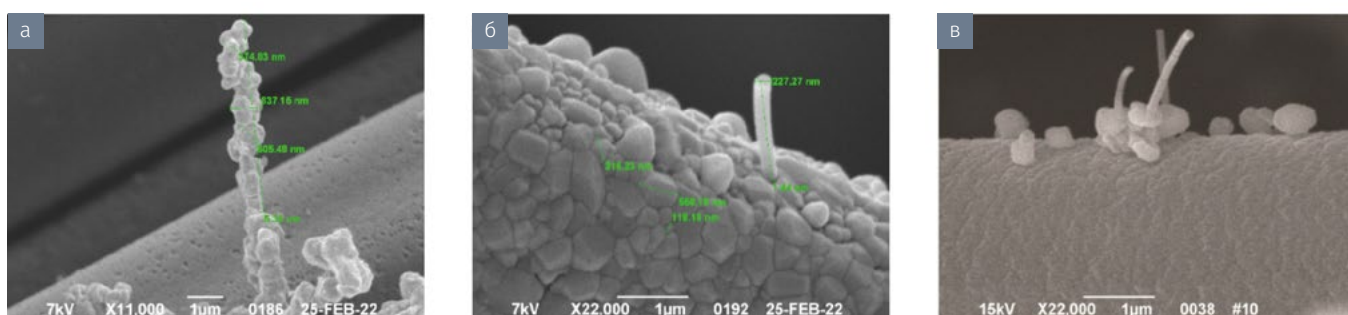


Рисунок 6. Частицы и наноструктуры кристаллов:
а, б — поверхность АУВМ, покрытая глобулами Au⁰ и наностержни из золота;
в — Ag⁰ в виде наностержней на поверхности АУВМ.

золота, что приводит к образованию электрического поля, которое вызывает гиперполяризацию стенки бактерии, ее глубокое, необратимое повреждение.

На фотографиях (рисунок 4) представлены УВМ с нанесенными электрохимическим способом частицами золота и серебра (Уварова Н. Ф.).

На рисунке 5 отчетливо видны глобулы серебра размером 50-80 нм, образцы получены методами

вакуумного напыления.

Интересным является тот факт, что при окислительно-восстановительной адсорбции ионов серебра и золота образуются золотые и серебряные наностержни (рисунок 6).

Исследования биологической активности разработанных материалов представлены ниже (таблица 2). Исследования бактерицидности проводили дву-

Таблица 2. Биологическая активность образцов, изготовленных различными способами

Образец	Титр клеток <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , КОЕ/мл, контроль $1,8 \times 10^8$	Диаметр зоны подавления роста бактерий, мм <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Метод вакуумного напыления		
АУВМ+Au ⁻¹	$4,1 \times 10^7$	-
АУВМ+Au ⁻²	$4,1 \times 10^7$	-
АУВМ+Au ⁻³	$4,1 \times 10^7$	-
АУВМ+Ag ⁻²	—	16,0 ± 0
УВМ+Ag ⁻³	—	17,0 ± 0
Метод окислительно-восстановительной адсорбции		
АУВМ+Au ⁻¹	$7,0 \times 10^7$	—
АУВМ+Au ⁻²	$4,0 \times 10^7$	—
АУВМ+Ag+Au ⁻¹	$1,6 \times 10^6$	17,0 ± 1,0
АУВМ+Ag+Au ⁻²	$3,0 \times 10^4$	22,0 ± 1,0
УВМ+Ag ⁻¹	$5,5 \times 10^6$	—
УВМ+Ag ⁻²	—	22,0 ± 1,0
Метод механического осаждения коллоидных частиц		
ПП+Ag ⁻¹	—	21,0 ± 1,0
ПП+Ag ⁻²	—	33,0 ± 2,0
НЦМ*+Ag	—	26,0 ± 2,0

мя методами: методом дисков и методом высева на мясо-пептонном агаре. Диаметр зоны подавления роста бактерий методом дисков составил 11,0–17,4 мм для образцов вакуумного напыления (в зависимости от концентраций исследуемых субстратов) и 17,0–22,0 мм для материалов изготовленных окислительно-восстановительной адсорбцией. Титр клеток *Pseudomonas aeruginosa* по сравнению с контрольным ($1,8 \times 10^8$) методом окислительно-восстановительной адсорбцией составил $1,2 \times 10^8$ – $4,1 \times 10^7$ КОЕ/мл; методом окислительно-восстановительной адсорбции — $7,0 \times 10^7$ – $3,0 \times 10^4$ КОЕ/мл; методом механического осаждения коллоидных частиц — 21,0 ± 1,0–26,0 ± 2,0 мм (в зависимости от концентраций). Данные таблицы свидетельствуют о высокой бактерицидности некоторых из разработанных металлсодержащих волокон. **КМ**

Работа выполнена в соавторстве с сотрудниками Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН (Медведева Н.Г., Кузикова И.Л.) и Санкт-Петербургского государственного технологического института — технического университета (Бурмистрова Н.М.).

Список литературы

1. Асташкина, О. В. Медьсодержащие волокна - сорбенты [текст] / О. В. Асташкина, Л. А. Вольф, А. А. Лысенко [и др.] // Журнал прикладной химии. — 1990. — № 1. — С. 135-139.
2. А.С. 1483915СССР, МКИ С08L29/04. Полимерметаллическая композиция для сорбции вируса гриппа / О. В. Асташкина, А. А. Лысенко, Л. В. Емец — № 4180236; Заявл. 04.12.86; зарег. 01.02.1989.
3. Асташкина, О. В. Получение модифицированных химических волокон — аффинных сорбентов для вирусологии: дисс. канд. техн. наук текст. - Л., 1991, с.150.
4. А.А.Лысенко, О.В.Асташкина Металлсодержащие химические волокна и их использование в биотехнологии. Химические волокна. – 2007. – № 2. – с. 44–50.
5. Жуковский В. А., Анущенко Т. Ю., Тагандурдыева Д., Хохлова В.А. Получение и исследование полимерных имплантов с серебряным нанопокрывтием. // Химические волокна. - 2018. - № 4 – с.
6. Electronic origin of antimicrobial activity owing to surface effect. Naoki Miyazawa, Susumu Sakakibara, Masataka Hakamada & Mamoru Mabuchi Scientific Reports volume 9, Article number: 1091. 2019
7. Antibacterial Efficacy of Gold and Silver Nanoparticles Functionalized with the Ubiquicidin (29–41) Antimicrobial Peptide Enrique Morales-Avila, Guillermina Ferro-Flores, Blanca E. Ocampo-García, Gustavo López-Téllez, Johnny López-Ortega, Diana G. Rogel-Ayala, and Diego Sánchez-Padilla
8. Biosynthesis, structural characterization and antimicrobial activity of gold and silver nanoparticles Tokeer Ahmada, Irshad A.Wania, NikhatManzoor, Jahangeer Ahmed, Abdullah M. Asirid Colloids and Surfaces B: Biointerfaces Volume 107, 1 July 2013, Pages 227-234

А. А. Лысенко
Н.И. Свердлова
К.В. Асташова
кафедра НВКМ, СПбГУПТД



Композиционные материалы с эпоксидной матрицей и керамзитным дисперсным наполнителем



Потребность в строительстве новых зданий различного назначения и восстановление разрушенных архитектурных объектов — памятников, зданий и сооружений — требует создания новых материалов, свойства которых можно изменять в зависимости от требований к внешнему виду и конкретным условиям эксплуатации. Искусственные каменные материалы имеют широкий спектр заданных свойств, который изменяется в зависимости от количественного соотношения выбранного наполнителя и связующего в соответствии с требованиями к качеству материала. Производство полимербетона — композиционного материала, в котором в качестве связующего используются полимерные смолы, а наполнителем служат материалы минерального происхождения — получило стремительное развитие.

Искусственные каменные материалы появились около 3000 лет до н. э. в ряде стран: Древней Индии, Китае и Египте. Первые искусственные каменные материалы были созданы на основе гипса и извести. Самая знаменитая разделительная стена длиной почти 9000 км – Великая Китайская стена построена с использованием искусственного материала, по составу схожим с современным бетоном.

В Библии упомянуто технологическая цепочка производства кирпича с использованием в качестве наполнителя соломы.

Искусные мастера прошлого использовали гранит, доломит, песчаник и другие материалы в качестве наполнителей в бетонные растворы. Полученные материалы имитировали природные камни, обладали прочностью, имели заданный размер и форму, были намного дешевле и удобнее в эксплуатации, чем обычные.

Знаменитые архитекторы Виолле-де-Дюк, Эжен применяли искусственный камень, имитирующий песчаник при реставрации Каркассона. Испанский архитектор Гауди использовал искусственный камень для отделки фасадов домов в Барселоне.

После Второй Мировой войны возникла огромная потребность в восстановлении разрушенных архитектурных объектов — памятников, зданий и сооружений. В качестве материала, который был успешно использован при реставрации, выступил искусственный камень. Производство полимербетона — композиционного материала, в котором в качестве связующего использованы синтетические смолы, а наполнителем служат материалы минерального происхождения, получило стремительное развитие вместе с расширением производства полимерных материалов.

Получение современного строительного материала с регулируемыми свойствами, расширили массовое распространение искусственных камней как в качестве декоративного, так и защитного материала, позволяя имитировать натуральные природные минералы, такие как гранит, сланец, известняк и другие [1].

Керамзит — лёгкий пористый газонаполненный композиционный материал (КМ), получаемый путём обжига во вращающейся печи легкоплавкой, вспучивающей глины при температуре 1000–1200°С. О свойствах и областях применения этого уникального материала уже известно на протяжении долгого времени.

Главными достоинствами керамзита являются его малая плотность, высокая долговечность, экологическая безопасность, эксплуатационная надёжность и теплостойкость.

Керамзит применяется в качестве наполнителя в производстве популярного строительного материала — керамзитобетона, который используется для возведения оснований зданий и цоколя.

В последнее время керамзит применяется в качестве засыпок при прокладке различных коммуникаций и теплоизоляции. Современное направление, в котором нашёл себя керамзит — это арт-дизайн.

Использование в качестве наполнителя лёгкого пористого материала позволяет создавать компо-

зиционные материалы с уникальными физико-механическими свойствами. Полимер-керамзитовые композиты являются материалами, которые могут использоваться во многих отраслях строительной индустрии.

Глинистое сырьё, используемое для получения керамзита представляет собой тонкодисперсные осадочные породы, состоящие в основном из глинистых минералов, таких как монтмориллонит, гидрослюда, каолинит и другие, содержащие минеральные (кварцевые, полевошпатные, карбонатные, железистые) и органические примеси.

Отсюда следует, что не всё глинистое сырьё подходит для получения керамзита, а только то, которое соответствует ГОСТ 9757-2012. Однако для корректировки состава и свойств допускается введение органических и минеральных добавок, в том числе отходов промышленности.

Для качественной оценки исходного сырья необходима минералого-петрографическая характеристика, которая включает в себя:

- минеральный состав (наличие и виды основных глинистых минералов и примесей);
- структурные особенности;
- наличие крупнозернистых включений;
- наличие кварца;
- наличие тонкодисперсных фракций.

Минералого-петрографическую характеристику определяют при геологической разведке месторождений, а также при проведении различных испытаний сырья [2].

Выбор способа получения керамзита определяется свойствами исходного сырья, а его качество зависит от режима термической обработки, при котором создаются оптимальные условия вспучивания подготовленных сырцовых гранул (зерен).

Наибольшее распространение получил пластический способ, так как при этом получается керамзит высокого качества. Рыхлое глинистое сырьё по этому способу перерабатывается в увлажнённом состоянии в вальцах, глиномешалках и других агрегатах. Пластичная глиномасса на ленточных шнековых прессах или дырчатых вальцах формируется в сырцовые цилиндрические гранулы, которые при дальнейшей транспортировке или при специальной обработке окатываются и округляются (рисунок 1).

Количество сырцовых гранул во многом определяет качество готового керамзита. Поэтому целесообразна тщательная переработка глинистого сырья и формирование плотных гранул одинакового размера. Размер гранул задаётся исходя из требуемой крупности керамзита и установленного для данного сырья коэффициента вспучивания.

Перерабатывающее оборудование определяют физико-механические свойства глин, их влажность и дисперсность.

Химический состав глинистых пород оказывает значительное влияние на процесс вспучивания. Поры внутри керамзита образуются за счёт внутренних ресурсов исходной глинистой породы. Минерало-

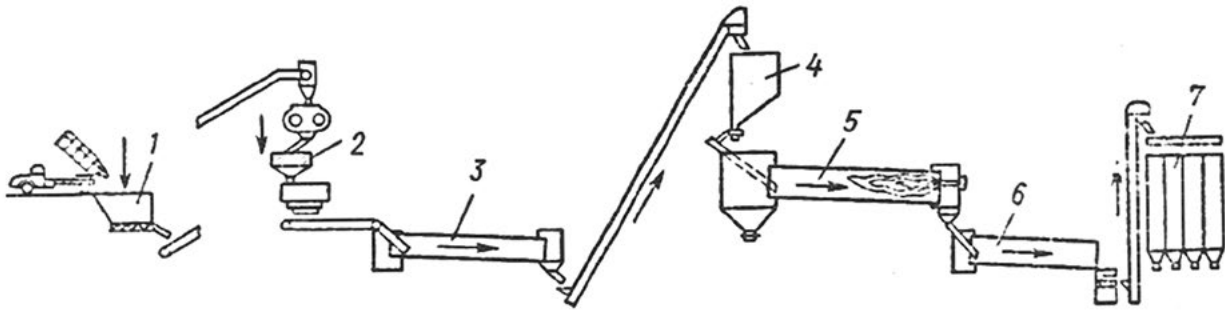


Рисунок 1. Технологическая схема пластического способа производства керамзита: 1 — питатель, 2 — глиноперерабатывающий и формующий агент, 3 — сушильный барабан, 4 — бункер печи, 5 — вращающаяся печь, 6 — холодильник, 7 — бункер для хранения керамзита



Рисунок 2. Керамзит — искусственный пористый наполнитель, используемый для получения полимерного композиционного материала

гический состав глинистой породы предопределяет сложный физико-химический процесс структурообразования керамзита. Фазовые превращения на основных стадиях термообработки ряда компонентов (глинистые и некоторые другие минералы, органическая часть) участвуют непосредственно или во взаимодействии в образовании пористой структуры

с выделением газо-парообразной фазы, без чего невозможно порообразование и вспучивание.

Керамзит представляет собой искусственный пористый наполнитель фракции от 5 до 10 мм (рисунок 2).

На свойства полимерного композиционного материала влияет не только качество наполнителя (прочность, износостойкость, размер и формы частиц), но и взаимодействие его со связующим. На поверхности частицы образуется разделительный слой, называемый межфазной границей, которая может рассматриваться как отдельная фаза, управляющая адгезией связующего к частице, обусловленной образованием прочной связью между материалами соединяемых поверхностей [3].

Изучение влияния свойств величины зерен фракции наполнителя (керамзита) и количества связующего на физико-механические свойства композитов позволили рекомендовать условия получения современных композиционных материалов, обеспечивающих декоративные и защитные свойства в строительной индустрии. Физико-механические характеристики керамзита представлены в таблице 1 [4].

В качестве связующего выбрана эпоксидная смола ЭД-20, представляющая собой олигомер, содер-

Таблица 1. Физико-механические характеристики керамзита

Наименование показателя	Показатель
Цвет	Тёмно-коричневый
Прочность при сжатии, МПа	0,5–2,0
Насыпная плотность, кг/м ³	400–550
Морозостойкость, %	1,2
Теплопроводность, Вт/м	0,16
Водопоглощение, %	10–25
Группа по горючести	Не горюч (НГ)

Таблица 2. Основные характеристики эпоксидной смолы ЭД-20

Наименование показателя	Показатель
Внешний вид	Высоковязкая, прозрачная
Массовая доля эпоксидных групп, %	20,0–22,5
Динамическая вязкость, Па·с, при (25 ± 0,1)°С	13–20
Плотность, г/см ³	1,2
Время желатинизации, ч, не менее	8,0

Таблица 3. Основные характеристики полиэтиленполиамина

Наименование показателя	Показатель
Наименование показателя	Показатель
Внешний вид	Жидкость от светло-жёлтого до тёмно-бурого цвета без механических включений. Допускается присутствие зеленоватого оттенка
Динамическая вязкость, Па·с	0,0962
Плотность, г/см ³	1,05
Отверждающая способность, ч., не более	1,5

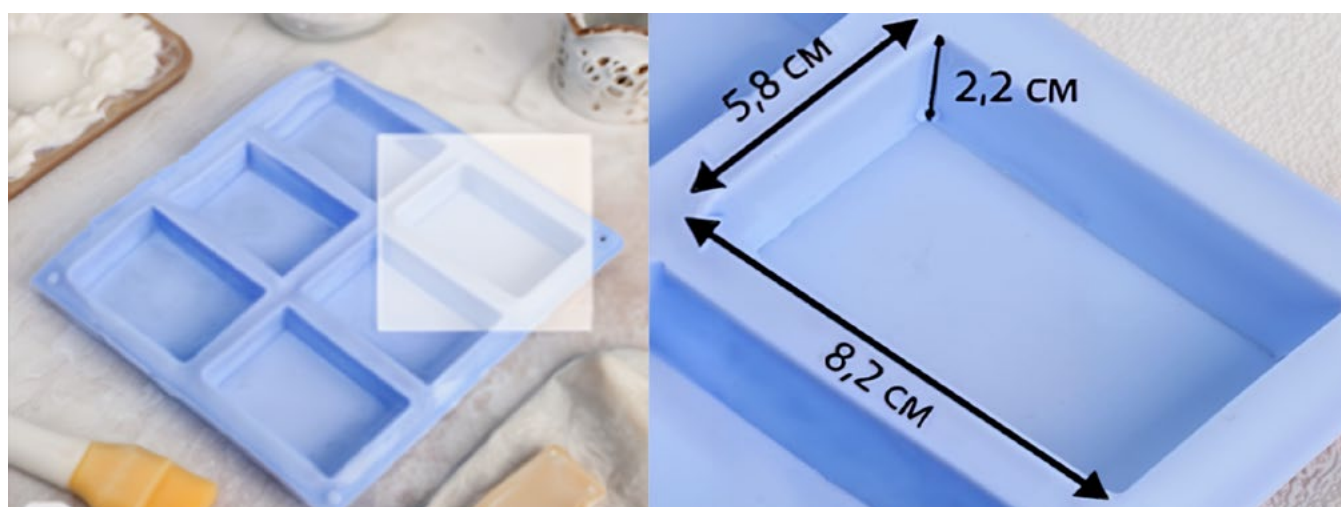


Рисунок 3. Силиконовая форма

жащий в молекуле одну или более глицидиловых, либо эпоксидных групп, которая при смешивании с отвердителем превращается в сшитый полимер. Аббревиатура ЭД-20 расшифровывается как: Э — эпоксидная, Д — дифенилопропановая, 20 — предел нормы содержания эпоксидных групп в %. Основные характеристики эпоксидной смолы ЭД-20 представлены в таблице 2 [5].

Отвердитель ПЭПА (полиэтиленполиамин), имеющий химическую формулу C_2H_4NH , использован в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Основные характеристики полиэтиленполиамина представлены в таблице 3 [6].

Изготовление композита проводили в подготовленной форме (рисунок 3). На дно и стенки формы равномерным слоем кисточкой наносили антиадгезионное покрытие — силиконовую смазку.

Керамзит промывали под струёй воды, а затем высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу. В качестве связующего использовали эпоксидную смолу, перемешанную с отвердителем (ПЭПА). Добавляли в связующее керамзит и тщательно перемешивали смесь. В таблице 4 представлены данные по содержанию керамзита (по массе, m) и эпоксидного связующего (по объёму, V) в изготовленных композитах по методу заливки в форму 1.

Таблица 4. Содержание керамзита (по массе) и эпоксидного связующего (по объёму) в изготовленных композитах

Количество связующего, %	Фракция керамзита, мм					
	5-6		6-10		5-10	
	m , г	V , мл	m , г	V , мл	m , г	V , мл
5		8,0		4,0		6,0
10	44,12	14,0	43,41	10,0	43,95	12,0
20		18,0		14,0		16,0



Рисунок 4. Отверждённый композиционный материал наполненный керамзитом

Полученную смесь заливали в форму и равномерно уплотняли шпателем.

Отверждение полученной смеси проводили в течение 45 мин при температуре 55°С в сушильном шкафу. Образцы композитов, вынутых из формы представлены на рисунке 4.

Важной особенностью полученных образцов композиционных материалов являлась нижняя сторона поверхности, которая содержала излишки связующего в виде гладкой основы, которая образовалась в результате контакта с дном силиконовой формы. Уменьшение количества связующего сохраняло зернистую структуру керамзитного наполнителя, гранулы которого обволакивались эпоксидным связующим (рисунок 5).

Блок-схема получения композитов с использованием керамзита методом заливки в форму представлена на рисунке 6.

Важно отметить, что были проведены исследования возможности применения в качестве связующего для изготовления полимер-керамзитовых композиционных материалов термопластичные полимеры. Изделия, полученные с использованием полиэтилена, полипропилена, полиэтилентерефталата, полиамида не имели прочной связи с керамзитом и, не обладая

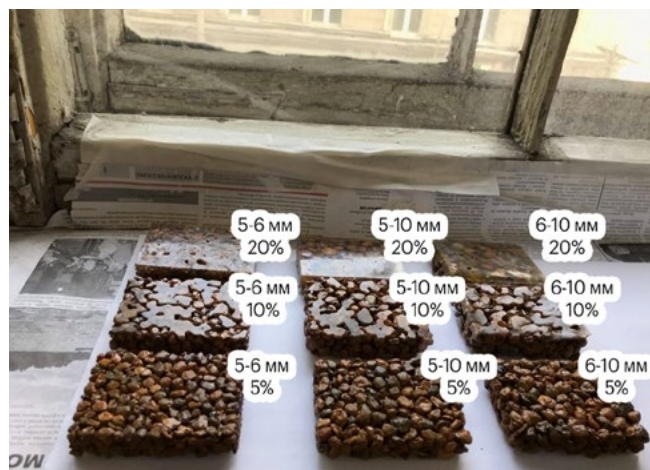


Рисунок 5. Нижняя сторона поверхности композитов

эстетическим видом, не сохраняли геометрические размеры формы. Эпоксидная смола проявила свои качества как связующее, обладающее рядом преимуществ: прочностью соединения с керамзитом и сохранением формы в процессе отверждения и охлаждения.

Изучены свойства полученных образцов полимер-керамзитовых композиционных материалов. Для характеристики свойств композитов использованы стандартные методы определения истинной плотности, водопоглощения, равновесной влажности, изменение перепада температур между верхней и нижней сторонами поверхности образца, морозостойкости ударной прочности, предела прочности при статическом изгибе [7].

Сравнение физико-механических свойств полимер-керамзитовых композиционных материалов выявило их зависимость от количества связующего и различия фракции керамзита. Водопоглощение образцов имеет тенденцию к увеличению при снижении диаметра частиц керамзита, введение керамзита привело к уменьшению истинной плотности (ниже 1000 кг/м³) в сравнении с отверждённым эпоксидным связующим без наполнителя ($\rho = 1290 \text{ кг/м}^3$).

Определена равновесная влажность образцов. Установлено, что время полного высушивания образцов при $T = 105^\circ\text{C}$ составляет 90 минут. Значение равновесной влажности изменяется в зависимости от использованной фракции при изготовлении композитов и достигает максимального значения (11,478·10⁻⁴ %) при использовании фракции керамзита 5-6 мм и количестве связующего 5%, что видно из полученных графиков. Установлено, что время полного высушивания образцов при $T = 105^\circ\text{C}$ составляет 90 минут.

Измерение перепада температур между нижней и верхней сторонами поверхности образца КМ показало, что наименьшее значение $\Delta T = 117\text{--}131^\circ\text{C}$ имеют образцы с фракцией керамзита 5-6 мм, что характеризует их как более теплопроводные материалы. Наибольшее значение $\Delta T = 143\text{--}146^\circ\text{C}$ имеют образцы с фракцией керамзита 6-10 мм, что позволяет отнести их к менее теплопроводным материалам и рекомендовать в качестве перспективного декоративного теплозащитного материала.

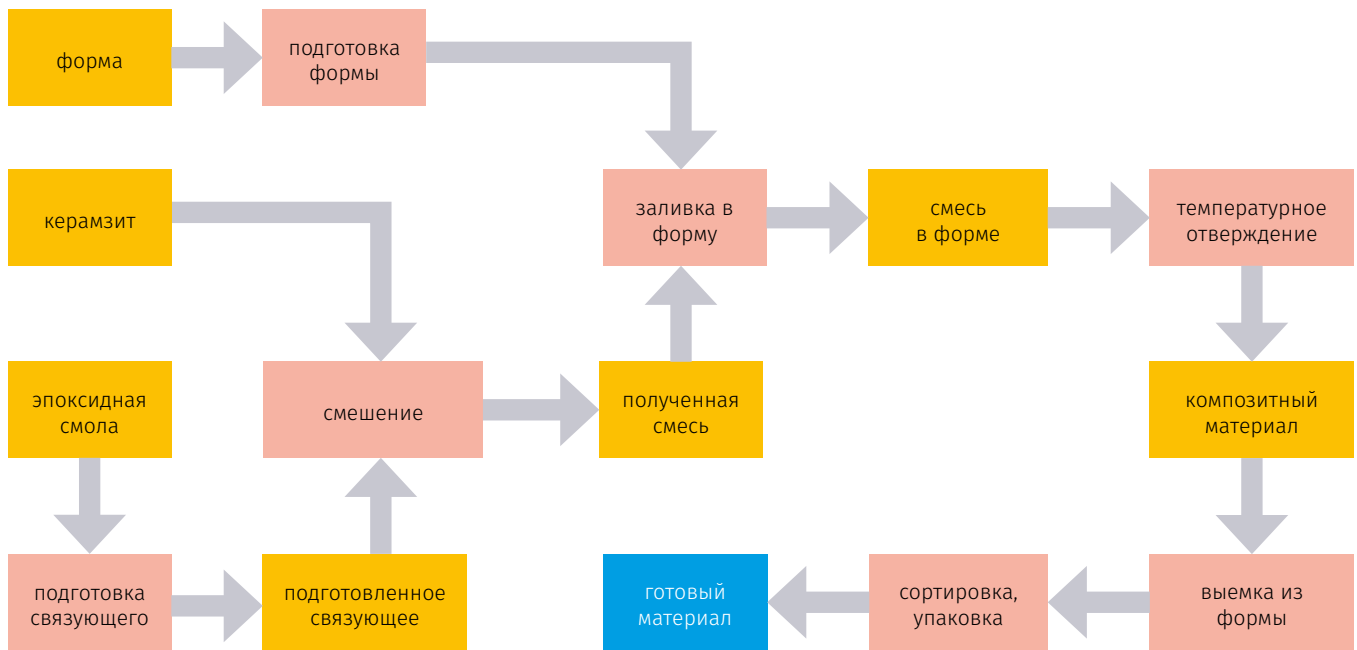


Рисунок 6. Технологическая схема получения композитов с использованием керамзита

Определение потери массы образцов КМ после 25 циклов замораживания и оттаивания не превышала 2%, что позволило установить, керамзитсодержащие КМ морозоустойчивы и являются перспективными для использования при низких температурах.

Установлена зависимость между количеством связующего с различной фракцией керамзита и показателями ударной прочности. Ударной прочностью, превосходящей отверждённую эпоксидную смолу ($A = 0,12-0,38$ Дж/см³), имеют образцы КМ с количеством связующего 20% ($A = 0,45-0,67$ Дж/см³).

Показателями предела прочности при статическом изгибе превосходящими отверждённую эпоксидную смолу ($R_{изг} = 111251$ Па) имеют образцы КМ с количеством связующего 20% и фракцией керамзита 5–6 мм ($R_{изг} = 114327$ Па).

Исследования показали, что полученные композиционные материалы обладают регулируемым водопоглощением, морозостойкостью, ударной прочностью и прочностью на изгиб, малой плотностью. Эстетический вид и широкий спектр потребительских свойств керамзитсодержащих композитов, которые могут применяться в стилизованной отделке помещений, декоративных панно закрытых от погодных условий и открытых арт-пространствах, а также приствольной защите корневой системы деревьев в городской среде позволяют их рекомендовать для промышленного производства. **КМ**

Список литературы

1. Искусственный камень. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственный_камень (дата обращения 20.05.2021);
2. ГОСТ 32026-2012. Сырье глинистое для производ-

ства керамзитовых гравия, щебня и песка = Clay raw materials for manufacturing of clayite gravel, rubble and sand : межгосударственный стандарт : издание официальное : утверждён и введён в действие Приказом Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (МНТКС) : введён впервые : дата введения 2014-01-01 / разработан Закрытым акционерным обществом «НИИКерамзит» (ЗАО «НИИКерамзит») при участии Некоммерческой организации «Союз производителей керамзита и керамзитобетона» (НО «СПКиК»). — Москва : Издательство стандартов, 2014. — V, 32 с. ; 29 см. — Текст : непосредственный;

3. ГОСТ 10587-84. Смолы эпоксидно-диановые неотверждённые = Uncured epoxy resins : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : утверждён и введён в действие приказом Государственного комитета СССР по стандартам : введён впервые : дата введения 1984-02-06 / разработан Министерством химической промышленности СССР. — Москва : Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1985. — 17 с. ; 29 см. — Текст : непосредственный;
4. ТУ 2413-357-00203447-99 Полиэтиленполиамин (ПЭПА). — М.: Издательство стандартов, 1999. - 16 с.;
5. ТУ 5746-002-11338038-2012 Камень искусственный. Методы испытания — М.: Издательство стандартов, 2012. - 32 с.;
6. ТУ 2413-357-00203447-99 Полиэтиленполиамин (ПЭПА). — М.: Издательство стандартов, 1999. - 16 с.;
7. ТУ 5746-002-11338038-2012 Камень искусственный. Методы испытания — М.: Издательство стандартов, 2012. - 32 с.;

Л. М. Штягина
А. А. Платунова
кафедра НВКМ, СПбГУПТД



Целлюлозосодержащие отходы в составе искусственных субстратов для выращивания растений

Использование целлюлозосодержащих отходов в искусственной почве является актуальной и важной темой с точки зрения устойчивого развития и улучшения экологической обстановки. Целлюлозосодержащие отходы, такие как бумага, стружка, опилки и другие растительные материалы могут быть использованы для улучшения физических свойств почвы, увеличения её плодородия и сохранения воды. Однако, перед использованием целлюлозосодержащих отходов необходимо провести различные исследования для оценки их влияния на качество почвы, рост растений и окружающую среду так как важно учитывать и потенциальные негативные эффекты.

Выращивание растений в различных почвенных субстратах

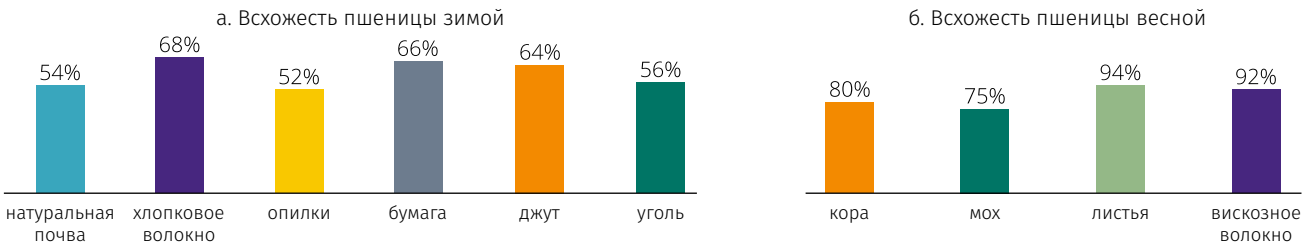
Для проведения исследований использовались субстраты, которые содержали следующие цел-

люлозосодержащие материалы: хлопковое волокно, вязкое волокно, опилки, кору, бумагу, уголь, джут, листья и мох. Также использовался готовый почвенный субстрат для выращивания растений. Перед началом готовились почвенные субстраты, в состав которых входило 20% целлюлозосодержащего наполнителя, а затем высаживались семена пшеницы и поливались водой. Полученные результаты по всхожести и зависимости высоты растений от продолжительности роста представлены на рисунке 1.

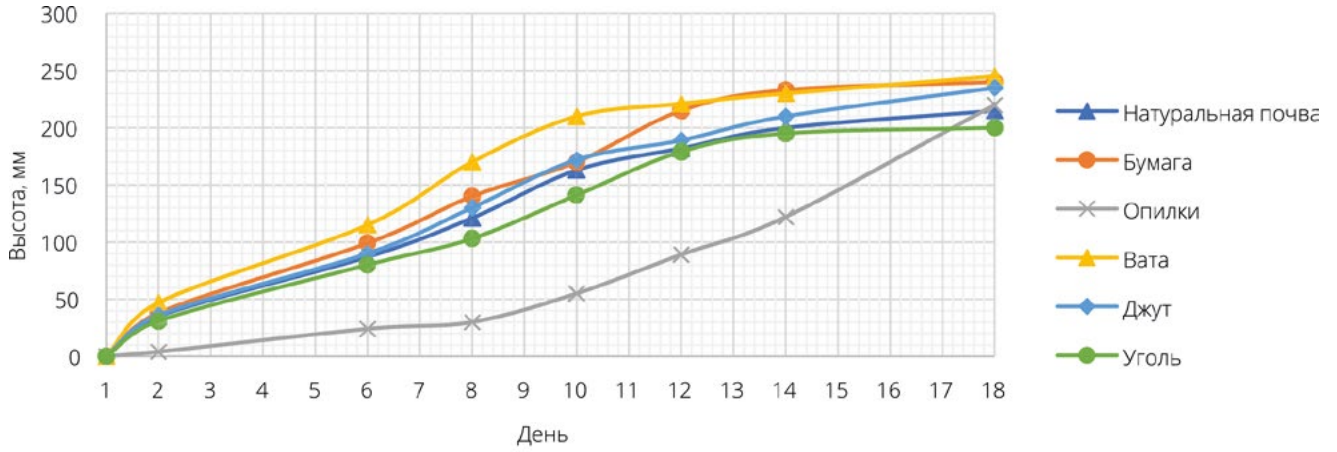
Определение надземной фитомассы

Надземная фитомасса является суммарной массой всех надземных частей растений. Она включает в себя стебли, листья, цветы и плоды растений. В исследованиях использовались семена пшеницы, которые выращивались в различных целлюлозосодержащих субстратах в разные времена года. Полученные результаты представлены на рисунке 2 [1].

Наука



в. Зависимость высоты растений от продолжительности роста зимой



г. Зависимость высоты растений от продолжительности роста весной

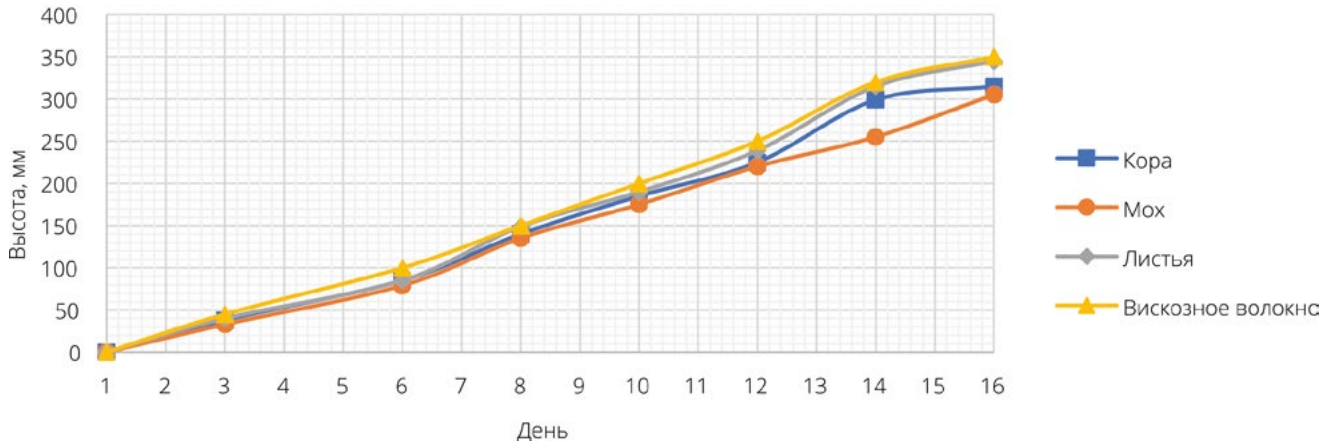


Рисунок 1. Полученные результаты

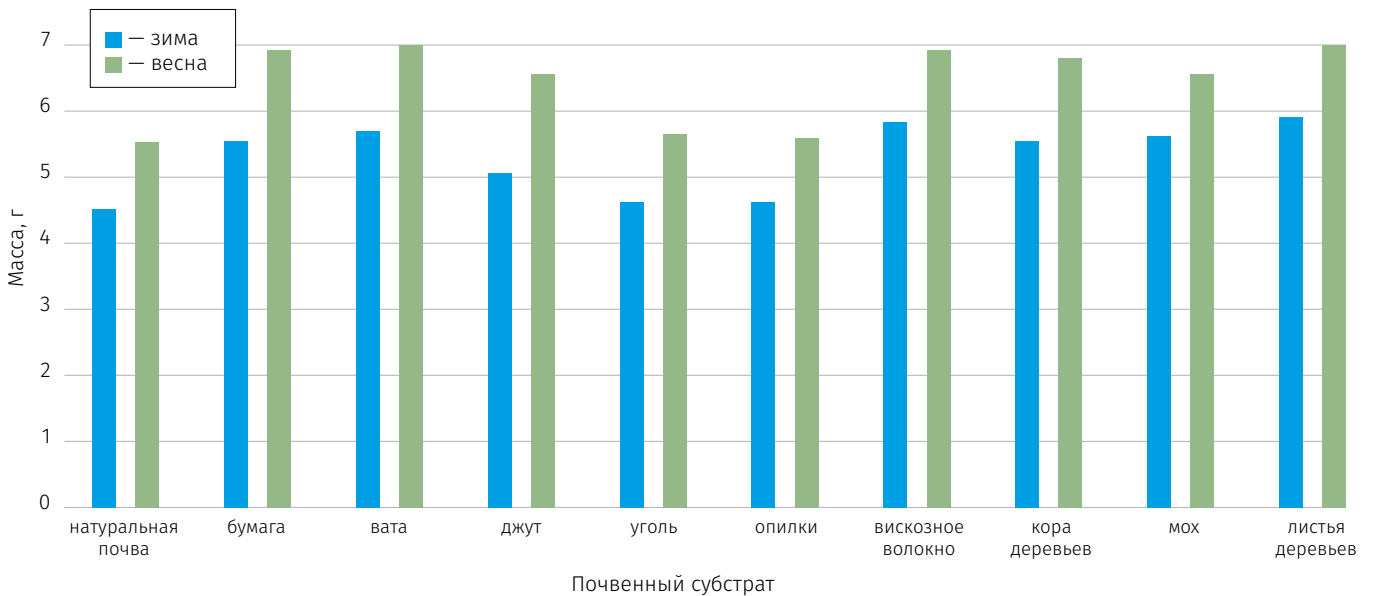


Рисунок 2. Сравнение надземной фитомассы

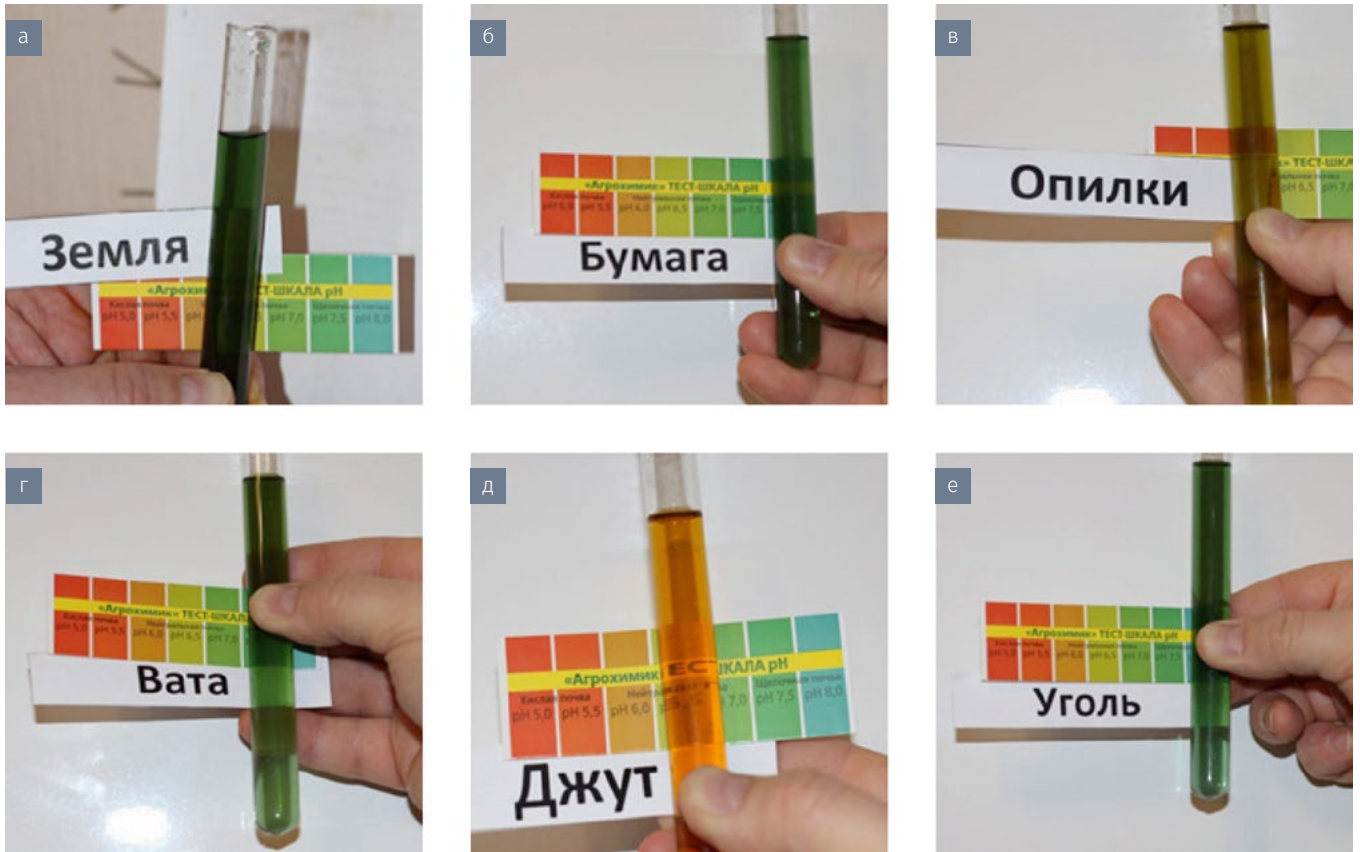


Рисунок 3. Определение pH почвенной вытяжки

Таблица 1. Полученные результаты по определению pH почвенной вытяжки

Почвенная вытяжка	pH	Результат по цветной шкале
Натуральна почва	7,5	Слабощелочная
Бумага	7,5	Слабощелочная
Опилки	6,5	Нейтральная
Вата	7,0	Нейтральная
Джут	6,0	Близко к нейтральной
Уголь	7,5	Слабощелочная

Определение pH субстратов

В данном опыте необходимо было узнать кислотность почвы. Кислотность почвы — это содержание в почвенном растворе ионов водорода. Показатель кислотности (pH) представляет собой число от 1 до 14 (для подавляющего числа почв от 4,0 до 8,5).

На кислотность нужно обращать внимание так как даже при соблюдении всех агрохимических приёмов растения могут расти и развиваться плохо.

Подавляющее число растительных культур хорошо развиваются и плодоносят в слабокислых, нейтральных и слабощелочных почвах, а наиболее требовательные в ещё меньшем диапазоне.

Например, высокая кислотность вредна для рас-

тений так как корневая система плохо развивается, питательные вещества плохо усваиваются, полезные микроорганизмы угнетаются, в самих же растениях нарушается синтез белков, сахаров и прочего, а вредные вещества могут и вовсе накапливаться в почве.

Высокая щелочность тоже будет оказывать негативное влияние на растения, особенно на те, которые предпочитают кислую почву (например, многие хвойные растения, рододендроны и так далее).

Поэтому перед тем, как начать посадку растений необходимо определить pH, а далее при необходимости исправить.

Для того чтобы определить pH субстратов использовалась тест-система «Агрохимик». Чтобы использовать данный индикаторный раствор необходимо

Таблица 2. Полученные результаты по водопоглощению

Исследуемый образец почвы	Водопоглощение, мл	Время истечения, с
Натуральная почва	1,8	51
Бумага	3	53
Опилки	6,9	60
Вата	9,1	70
Джут	6,5	57
Вискозное волокно	10	75

было приготовить почвенную вытяжку субстратов. Для этого отбиралось 5–6 столовых ложек субстрата и вносилось 0,5 литров комнатной кипяченой воды. После данную почвенную вытяжку необходимо было отфильтровать при помощи фильтровальной бумаги или ваты. Отбиралось 200 мл отфильтрованного раствора и вносилось содержимое ампулы. Затем полученная окраска раствора сопоставлялась с цветной шкалой. На рисунке 3 представлено соотношение окраски раствора с цветной шкалой [2].

Как видно из данных, представленных в таблице 1, все почвенные субстраты подходят для выращивания семян так как для пшеницы рН между 5,5–7,5 являются самыми благоприятными, но данный показатель может быть разным для различных почв, мест выращивания и сортов пшеницы.

Определение водопоглощения

Важной характеристикой почвы является водопоглощение. Водопоглощение — это способность почвы поглощать воду при атмосферном давлении и комнатной температуре. Данная характеристика выражается отношением количества впитанной воды к абсолютно сухому грунту [3].

Для данного эксперимента отбиралось четыре навески. Навеска натуральной почвы весила 2 грамма.

Остальные три субстрата тоже суммарно весили по 2 грамма, но 30% от массы составлял целлюлозосо-держажий наполнитель.

Далее помещаем навеску в фильтр Шотта и по капле прикапываем воду из бюретки, до тех пор, пока первая капля не упадет на дно колбы. Полученные данные представлены в таблице 2. По ним можно сделать вывод, что наибольшим водопоглощением обладает вата и опилки.

Определение влагоудержания

Для начала необходимо было приготовить различные субстраты массой 20 г, из которых 20% это наполнитель. После того, как всё было подготовлено добавили 50 мл воды в каждый стаканчик и оставили их на несколько дней при комнатной температуре. Каждый день велись наблюдения за изменением массы субстрата. Замеры продолжались до тех пор, пока почвенный субстрат не вернулся в свою первоначальную массу. Полученные данные представлены на рисунке 4 [3].

Создание субстратов в декоративных целях

Целью данного эксперимента было создание субстратов, которые можно использовать в декоративных

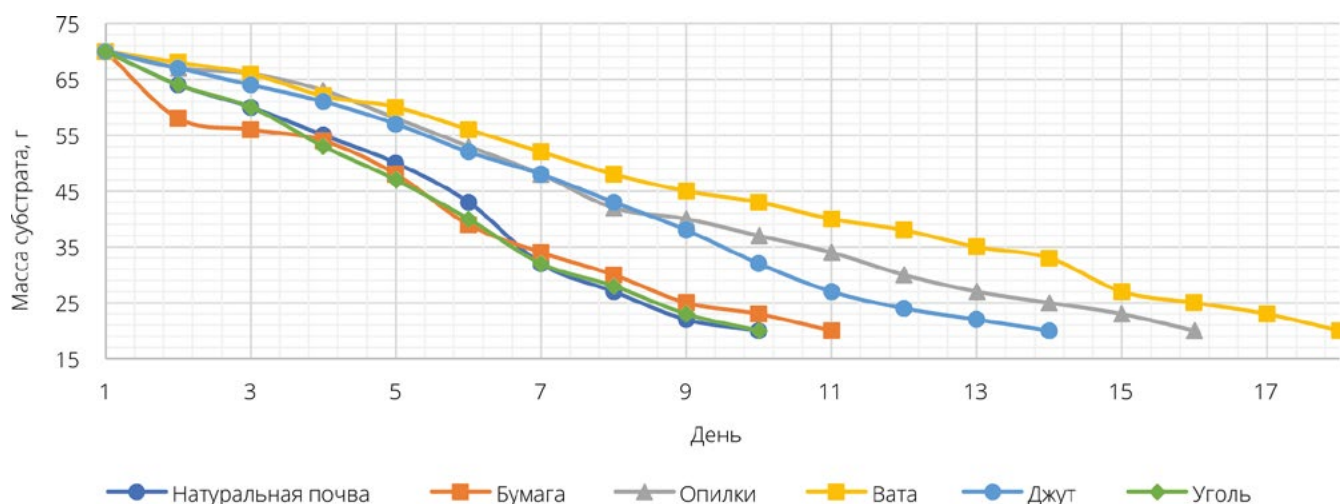


Рисунок 4. Зависимость массы субстрата от времени



Рисунок 5. Эскиз

целях. Для этого сначала необходимо было создать эскиз заготовки, по которому в дальнейшем собиралась конструкция. Эскиз представлен на рисунке 5.

Основой для конструкции является газонаполненный композит. Для его создания необходимо было в таре вместимостью 500 мл приготовить 200 мл 10 %-го водного раствора ПВС. Для этого было необходимо 20 граммов кристаллического ПВС поместить в стакан, затем залить 180 мл дистиллированной воды, после закрыть стакан крышкой и поставить на водяную баню при 90°С и держать до получения прозрачного раствора. Далее раствор охладить до комнатной температуры.

Параллельно готовили 5%-й раствор ПВС в количестве 100 г. Для этого необходимо навеска в 5 г ПАВ, которую перенесли в пластиковый стакан и добавили 95 г (95 мл) дистиллированной воды.

В остывший раствор ПАВ вносили раствор ПАВ, туда же добавляли 0,2 г соды и нужное количество наполнителя, а затем перемешивали на гомогенизаторе несколько минут, после добавляли 15 мл формалина и 10 мл соляной кислоты.

После внесения последних компонентов и пе-

ремешивания стакан закрывали плёнкой и снова ставили на водяную баню на один час при 180°С. Именно здесь и будет образовываться пористый композитный материал. Затем композиционный материал в стакане охладил до комнатной температуры. Далее извлекли из стакана и промыли от остатков соляной кислоты, формалина и ПАВ до тех пор, пока промывные воды не будут иметь нейтральный pH. После этого высушили композиционный материал в термошкафу при 60°С [4].

Далее композиционному материалу придали нужную форму, замочили в питательном растворе и высадили семена растений. После того как растения проросли и их корешки укрепились на поверхности композиционного материала была собрана конструкция. Полученные результаты представлены на рисунке 6.

Данный эксперимент свидетельствует о том, что из целлюлозосодержащих отходов можно получать газонаполненные материалы, которые в дальнейшем можно использовать в декоративных целях.

Заключение

Проведенные исследования показали, что добавление целлюлозосодержащих отходов в почву может оказать положительное влияние на рост и развитие растений. Углерод, содержащийся в целлюлозе, является важным элементом питания для растений и может улучшить качество почвы.

Целлюлозосодержащие материалы, такие как опилки, солома, древесная кора и другие органические отходы, могут улучшить структуру почвы и увеличить её водопроницаемость, что способствует росту корней растений. Кроме того, целлюлоза может удерживать в почве необходимые для роста растений минеральные вещества и улучшать свойства почвы, такие как pH-баланс.

Однако, при добавлении целлюлозосодержащих отходов необходимо учитывать их происхождение и состав. Некоторые материалы могут содержать вредные химические вещества и микроорганизмы, которые могут нанести вред растениям.

В целом, правильно использованные целлюлозосодержащие отходы могут положительно влиять на рост и развитие растений, улучшать качество почвы и выступать в качестве устойчивого и экологически безопасного варианта удобрений. **КМ**

Список литературы

1. Самбыла, Ч.Н. Фитомасса высокогорных растительных сообществ Алтае-Саянской горной области : специальность 03.02.08 «Экология» : диссертация на соискание учёной степени доктора биологических наук / Самбыла Чойган Николаевна. – Кызыл, 2018. – 425 с.
2. Тест-система «Агрохимик»: [Электронный ресурс]. URL: <https://procvetok.by/uploads/files/Content/instruktsii/PDF/Test.pdf> (дата обращения: 15.05.2023).
3. ГОСТ 24160-80. Торф методы определения влагоемкости = Turf. Methods for the determination of

moisture-holding capacity : национальный стандарт Российской Федерации : официальное издание : утверждён и введён в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30 апреля 1980 г. № 1980 : введён впервые : дата введения 1981-07-01: разработан Министерством топливной промышленности РСФСР. – Москва : Издательство стандартов, 1980 . – IV, 18 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

4. Асташкина, О.В. Технология полимерных композиционных материалов. Дисперснонаполненные композиционные материалы : методические указания пособие / О.В. Асташкина, А.Ю. Кузнецов, А.А. Лысенко. – Санкт-Петербург : СПбГУПТД, 2019. – 52 с.



Рисунок 6. Полученные результаты:
 а — полученный композиционный материал;
 б — нарезанный композит;
 в — посаженная трава;
 г — проросшая трава на композиционном материале;
 д — готовая конструкция



Наполненные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена

А.Ю. Кузнецов
А.А. Лысенко
кафедра НВКМ, СПбГУПТД

С.С. Янченко
НТЦ ЯРБ, Республика Беларусь

Благодаря разработке наноструктурных материалов с супервысокой степенью разделения многокомпонентных систем появилась возможность создания и применения подобных новых материалов в различных сферах деятельности человеческого общества с комплексом свойств, существенно превышающих аналогичные свойства традиционно выпускаемых изделий. Такие материалы представляют интерес в технике защиты окружающей среды при экологических катастрофах, связанных с загрязнением водоемов, например, нефтепродуктами, радионуклидами, тяжелыми металлами, а также в технологических процессах водоподготовки.

В последние годы ведутся работы по наполнению наноструктурными порошками кристаллизующихся полимеров. Создание такого рода композитов возможно с помощью различных методов, в том числе метода гель-технологии, который позволяет комбинировать различные наполнители с низкоконцентрированными растворами полимеров. С помощью этого метода могут быть получены высокопрочные сорбирующие и фильтрующие материалы [1].

Образование геля из раствора сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) при понижении температуры происходит вследствие фазового распада в системе. Гель (или студень) представляет собой каркасно-ячеистую структуру, в которой каркасом

является богатая полимером фаза, а промежутки заполнены низкомолекулярной фазой (растворитель). Узлами этой «редкой» пространственной гель-сетки являются ламелярные микрокристаллиты с толщиной ~4–5 нм и поперечными размерами ~18 нм. Плоскости кристаллитов дефектны и напоминают мозаичную структуру (кристаллиты с надломами). Переход геля в состояние ксерогеля осуществляется путем удаления растворителя из исходного геля СВМПЭ с помощью экстракции низкокипящим реагентом *n*-гептаном. В результате этого образуется ксерогель, со структурой неплотной, но достаточно прочной кристаллической сетки, основой которой являются кластеры, состоящие из 2–3 компланарных ламелярных кристаллитов, связанных выпрямленными проходными цепями. Строение геля достаточно благоприятно для преобразования его в пористые пленки [2].

Требуемые сочетания свойств наиболее легко достигаются созданием наполненных полимерных материалов (композитов), компоненты которых при совместной работе способны оказывать синергический эффект. Уменьшение размера зерен или частиц наполнителя до нанометрового приводит к повышению прочности, теплопроводности, электропроводности, магнитных свойств в десятки раз, заметно улучшается и сорбционная активность таких материалов. Изменения характеристик нано-

Таблица 1. Физико-химические свойства наполнителей

Тип наполнителя	Форма частиц наполнителя	Размер частиц наполнителя, нм	Структура зерен наполнителя	Водопоглощение, %	Истинная плотность наполнителя, кг/м ³	Особые свойства
Монтмориллонит [Na(Mg, Al) ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂ · 4H ₂ O]	чешуйки	50–80	слоистая	35	2000	Ионообменные
Цеолит Na-A [Na ₁₂ Al ₁₂ Si ₁₂ O ₄₈ ·27H ₂ O]	сферическая	80–100	ромбическая	60	2370	Ионообменные
Ферроцианид никеля [K _{0,80} C _{0,70} Ni _{1,25} Fe ₂ (CN) ₆]	чешуйки	1–100	Кристаллическая гексогональная	9	2240	электроно-ионообменные
Феррит стронция [SrFe ₁₂ O ₉]	чешуйки	50–90	Кристаллическая полиэдрическая	5	2470	магнитные
Магнетит порошковый	сферическая	>2,5	кристаллическая кубическая		5200	магнитные

Таблица 2. Характеристика магнитных наполнителей и наполненных пленок на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена

Вид наполнителя	Размер частиц, нм	Магнитные свойства наполнителя/пленочный магнетик*	
		магнитная индукция, Тл	коэрцитивная сила, кА/м
Феррит стронция	50-90	0,360/0,265	210/161
Ферроцианид никеля	> 2,5	0,280/0,335	176/200
Магнетит	> 2,5	0,357/0,51	208/149

* степень наполнения 70 %

Таблица 3. Влияние вида сорбента на сорбционную емкость

Сорбент	Сорбционная емкость, ммоль/г		
	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ba ²⁺
СВМПЭ+70% монтмориллонита	1,65	1,16	4,20
СВМПЭ+70% цеолита Na-A	1,35	1,69	1,80

структурных материалов обусловлены не только уменьшением размеров структурных элементов, но и проявлением квантовомеханических эффектов, волновой природой процессов переноса и доминирующей ролью поверхностей раздела.

Введение наноструктурных наполнителей в СВМПЭ сопровождается значительным изменением релаксационного поведения полимера и температур перехода из одного физического и фазового состояния в другое.

В таблице 1 представлены некоторые физико-химические свойства наполнителей, используемых для получения композиционных пленочных материалов на основе СВМПЭ.

Матрица СВМПЭ отличается от других полимерных матриц возможностью получения мезо- и макропористых структур с высокой удельной поверхностью. В ходе эксперимента, используя методы ИК-Фурье-спектроскопии, ЯМР и адсорбционный метод Мак-Бена, определена удельная поверхность пленок СВМПЭ ($S_{уд} = 34,6 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$) [3]. Пористая структура композита формируется как в процессе введения наполнителя, так и в процессе отверждения матрицы. Количество вводимого наполнителя ограничивается его насыпной плотностью, которая определяется формой, размером

и полидисперсностью частиц.

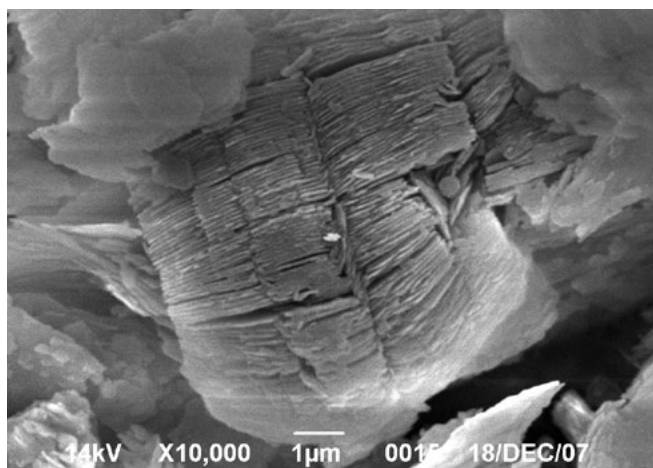
Регулирование качественных показателей сорбентов можно производить за счет изменения параметров процесса получения (продолжительность, температура), состава и соотношения компонентов.

Используя метод гель-технологии и СВМПЭ в качестве связующего, получили композиционные пленочные материалы наполненные цеолитом Na-A (5–70 масс. %), монтмориллонитом (5–70 масс. %), магнетитом (5–70 масс. %), ферритом стронция (5–70 масс. %), ферроцианидом никеля (5–70 масс. %).

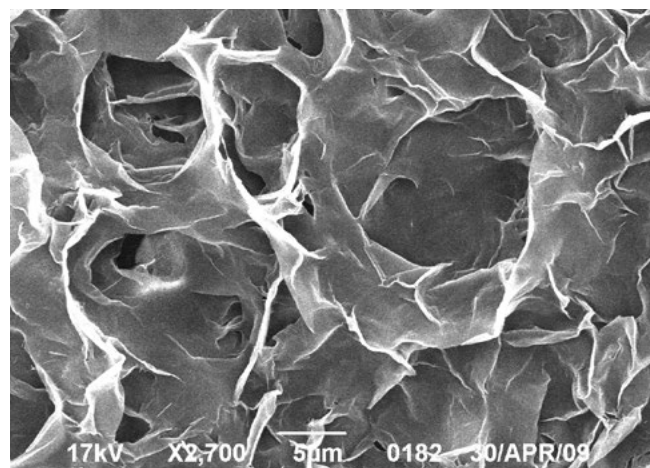
Магнитные свойства феррита стронция, ферроцианида никеля и магнетита, а также пленочных материалов, наполненных этими наполнителями, представлены в таблице 2.

Кроме того, пленки наполненные цеолитом Na-A и монтмориллонитом имеют высокую сорбционную емкость по отношению к щелочноземельным металлам (таблица 3), что позволяет использовать их в процессе водоподготовки, снижения жесткости воды.

Исследования поглощательных свойств полученных композитов свидетельствуют о том, что данные наноматериалы эффективно сорбируют радионуклиды Cs, Sr, Y не только благодаря простому уве-



Фотография монтмориллонита



Незаполненная пленка из СВМПЭ

Таблица 4. Влияние вида сорбента на коэффициент распределения радионуклидов

Сорбент	Величина коэффициента распределения радионуклида, см ³ /г		
	Cs 137	Sr 90	Y 90
СВМПЭ-50% цеолита Na-A	2,7·10 ²	4,6·10 ²	5,8·10 ²
СВМПЭ-50% монтмориллонита	1,9·10 ²	2,4·10 ¹	6,5·10 ¹
СВМПЭ-50% ферроцианида никеля	4,9·10 ⁴	3,1·10 ⁴	2,7·10 ⁴
СВМПЭ-50% феррита стронция	4,1·10 ²	4,3·10 ²	4,3·10 ²
СВМПЭ-50 % ионообменного волокна	2,6 10 ²	5,9 10 ²	—
КУ-2-8 в натриевой форме (аналог)	8,3·10 ¹	8,6·10 ¹	8,6·10 ¹

личению суммарной поверхности частиц сорбента при уменьшении его размера, но и более тонким процессам, связанным с формированием структуры пленочных композитов. Использование СВМПЭ обеспечивает надежную фиксацию наночастиц в матрице, при этом толщина полимерной пленки в создаваемом композите должна превышать размеры включаемых частиц как минимум в несколько раз. В зависимости от природы наполнителя и степени наполнения толщина пленочных композитов на основе наноразмерных частиц составляет 10–60 мкм, в то время как блочные материалы не имеют ограничений по размерам.

В результате проведенных исследований обнаружена высокая селективность сорбента, содержащего наночастицы ферроцианида никеля, к радионуклидам цезия, иттрия и стронция. Результаты представлены в таблице 4.

Эффективность сорбентов не снижается при очистке водной среды с высоким содержанием солевого фона (до 200 г/л NaCl).

Эффективность сорбции предлагаемых сорбентов на несколько порядков выше чем у ионообменных смол, широко используемых для очистки водных сред от радионуклидов, и при эксплуатации в режиме

интенсивного перемешивания с контактирующим раствором не наблюдается выкрашивания частиц наполнителя из композита. Сорбент является высокопрочным, содержит открытые и закрытые поры, способен длительно работать, покрывая очищаемые поверхности, тем самым экранируя загрязненные водоемы от окружающей среды и эффективно извлекая радионуклиды. **КМ**

Список литературы

1. Ю.Н. Михайлова, Е.В. Назарова, С.Д. Хижняк, Т.А. Ананьева, П.М. Пахомов Структура и свойства наполненных пленочных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена // Журнал прикладной химии, 2002. Т. 75. Вып. 1.
2. Назарова Е.В., Волков Ф.В., Ананьева Т.А., Юнг-Су-Чой Структура, свойства и применение высокомолекулярных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена // Fundamentals of Adsorption 7, IAS, IK International, LTD, Japan. 2002. – p. 848-856.
3. Гребенников, С.Ф. Пористая структура композиционных материалов / С.Ф. Гребенников, Т.В. Смотрина, Т.А. Ананьева, А.Ю. Кузнецов // Журнал прикладной химии. - 2005. - т. 78, вып. 6. - С. 1006-1009.





compositeworld.ru