

Актуальность проекта

Актуальность проекта связана с необходимостью повышения конкурентоспособности и расширения ассортимента продукции легкой промышленности, разработки технологий производства волокнистых материалов со специальными свойствами в зависимости от области их применения, разработки способов вторичной переработки синтетических волокон, новых цифровых методов моделирования волокнистых материалов массового потребления (одежда, интерьерные ткани, медицинский и технический текстиль, волокнистые материалы специального назначения).

Цель и задачи

Целью проекта является разработка и реализация на российских предприятиях легкой промышленности разработанных технологий и цифровых методов прогнозирования эксплуатационных свойств волокнистых материалов и изделий для повышения их конкурентоспособности, решения задач импортозамещения и обеспечения технологического суверенитета страны.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- 1) разработка универсальных интенсифицированных технологий крашения текстильных материалов из природных и синтетических полимеров, отличающиеся энерго- и ресурсосбережением, низкой токсичностью используемых реагентов и экологической безопасностью;
- 2) повышение эффективности процессов производства нетканых волокнистых материалов, применяемых в производстве отечественной конкурентоспособной продукции легкой промышленности;
- 3) разработка способов модификации полимерных материалов с целью придания специальных свойств (антибактериальность, фунгицидность, биоразлагаемость) и получение модификаторов полимеров из российского сырья;
- 4) разработка технологических решений по вторичной переработке отходов волокнистых материалов из трудноразлагаемых полимеров (полиэтилентерефталат, полиолефины и т.п.);
- 5) разработка алгоритма математического моделирования зависимости эксплуатационных свойств материалов от характеристик сырья и технологи-

ческих параметров, который позволяет проводить системный анализ и цифровое прогнозирование потребительских свойств конечной продукции легкой промышленности.

Научная новизна и патентно-лицензионная ценность

Научная новизна разработок заключается: в теоретическом обосновании интенсифицирующего действия нового вида интенсификаторов на основе четвертичных аммониевых солей в процессах крашения текстильных материалов из натуральных и синтетических волокон; изучении межмолекулярных взаимодействий и определении термодинамических параметров процессов, протекающих в водных растворах солей аммония и красителей; обосновании механизмов действия исследуемых интенсификаторов.

Разработан способ получения стабильных коллоидных растворов, содержащих бикомпонентные наночастицы, без применения токсичных восстановителей, а за счет разности окислительных потенциалов (E^0) пар Ag^+/Ag^0 (+0,7994 В) и Cu^{2+}/Cu^0 (+0,3450 В), полученные растворы сохраняют стабильность в течение 24 мес. Исследована кинетика синтеза коллоидных растворов, содержащих бикомпонентные наночастицы.

Научная новизна разработок в области оптимизации технологий получения комбинированных нетканых волокнистых материалов заключается в получении теоретически обоснованных и экспериментально подтвержденных моделей формирования ворсового покрытия в технологии электрофлокирования: 1) модель контактной зарядки ворса, 2) модель формирования ворсового покрытия в электрическом поле на основе ориентации ворса, 3) взаимосвязь относительной ориентации ворса и относительной плотности ворсового покрытия, 4) взаимосвязь плотности тока и скорости поступления заряженного ворса к поверхности материала с долей максимального заряда ворса.

На основе полученных моделей удалось предложить методику расчета максимального заряда ворса в зависимости от длины и диаметра ворсинки, а также напряженности электрического поля. Модель ориентации ворса на поверхности материала позволяет определить динамику изменения плотности

ворсового покрытия. На основе применения полученных моделей, оказалось возможным осуществить поиск наилучших характеристик ворса и условий его нанесения для различных условий оптимизации.

Патентно-лицензионная ценность разработок подтверждена 9 свидетельствами на результаты интеллектуальной деятельности.

Экономический или социальный эффект

Внедрение созданных интенсифицированных технологий крашения текстильных материалов с использованием низкотоксичных, недорогих и доступных четвертичных аммониевых солей реализуется на действующем оборудовании текстильно-отделочных предприятий и фирм с улучшением качества выпускаемой продукции, условий труда, показателей технико-экономической эффективности и безопасности производства. Синтез необходимых интенсификаторов крашения возможен на местных химических станциях из российского сырья.

Технологические решения по переработке отходов волокнистых материалов из полипропилена решают глобальную проблему загрязнения окружающей среды пластиком. Новые технологии переработка полимерных материалов позволяют улучшить экологию, дать новую жизнь использованному материалу, продлить продолжительность жизни людей. Более того, изучение данного вопроса не только найдет практическое значение, но и теоретические данные взаимодействия солей аммония с полимерной структурой дополнят учебники по органической химии, химии и технологии полимеров, и позволят дальше развивать данную тематику будущими поколениями.

Внедрение полученных результатов в части корректировки процесса нанесения ворса по технологии электрофлокирования путем реализации методик контроля свойств волокнистого сырья с целью прогнозирования параметров готовой продукции и выбора технологических режимов для повышения скорости производства и сохранения качества готового материала.

Технологические решения по замене латексного связующего термопластичными пленками и предложения по оптимизации процесса получения тафтинговых напольных покрытий направлены преодоления дефицита отече-

ственного латексного связующего, снижения энергоемкости технологии и повышения экологичности производства.

В результате внедрения результатов работы "Разработка и практическая реализация технологий переработки и методов цифрового моделирования волокнистых материалов для предприятий легкой промышленности", выдвинутой ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна" на соискание премии Правительства Российской Федерации 2024 года в области науки и техники для молодых ученых был получен экономический эффект в 2023 году, на предприятиях, апробирующих указанные результаты:

- ООО "СИНТЕЗ", Россия, 196006, г. Санкт-Петербург, ул. Коли Томчака, д. 20Б, литера А, пом. 2 Б – 362 500 000 руб.;

- АО "САЛЮТ", Россия, 197101, Санкт-Петербург, ул. Кронверкская, 23 – 632 000 000 руб.;

- ЗАО НПП "АНА", Россия, 197198, г. Санкт-Петербург, Малый проспект П.С., д. 5 – 125 500 000 руб.;

- ООО "ЮНТИ", Россия, 190068, Санкт-Петербург, пер. Бойцова, д. 7, оф. 600 – 330 000 000 руб.

Кроме того, значительный экономический эффект был получен от внедрения результатов работы на ООО "Индантрен" (ИНН 780127462 КПП 780101001, г Санкт-Петербург) и ООО "Линтекс"(ИНН 7826083684, КПП 783901001, г Санкт-Петербург).

Указанный экономический эффект от внедрения результатов работы подтвержден соответствующими актами внедрения и справками.

Практическая ценность, результаты внедрения, масштабы реализации

Разработаны новые рецепты и режимы технологических процессов крашения текстильных материалов, преимущества которых подтверждены результатами производственных испытаний и внедрения на ряде фирм и предприятий отрасли: ООО «ЮНТИ», ООО «Индантрен», ООО «Линтекс», Вологодский текстильный комбинат, ООО «УК «Земство».

Созданные коллоидные растворы бicomпонентных наночастиц Cu-Ag применяются в технологиях придания фунгицидных и бактерицидных свойств различным полимерным материалам, в том числе и волокнистым. На рисунке 1 приведены микрофотографии полимерных материалов, модифицированных наночастицами.

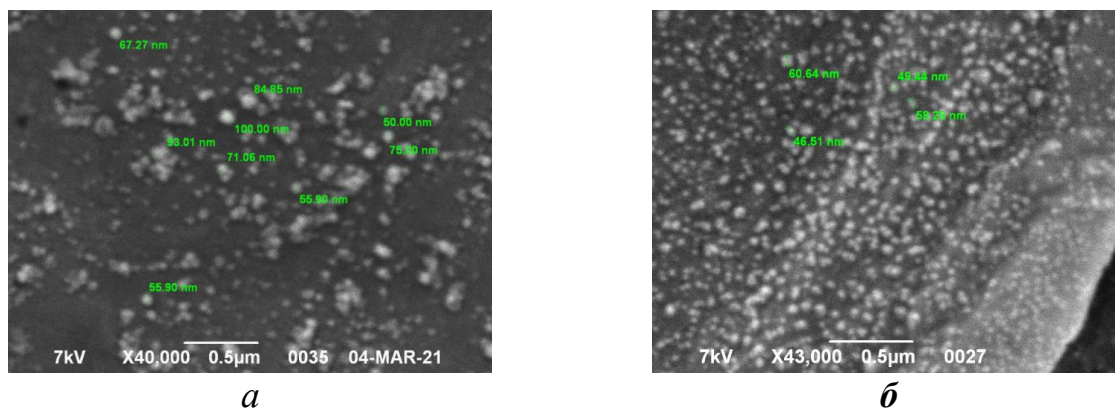


Рисунок 1. Микрофотографии образцов полимерных материалов с бicomпонентными наночастицами Cu-Ag:

а – полиамидная пленка, *б* – конопляное волокно

По заказу предприятия АО «Новбытхим» получены опытные антибактериальные составы для обработки древесины на основе ПВС и Полидона-А («Раствор для водных морилкок 2») с введением биметаллических наночастиц медь-серебро. Проводятся производственные испытания.

Стартап по переработке полипропиленового мусора в топливо стал победителем акселерационной программы Университета промышленных технологий и дизайна в 2023 г. Партнерами продвижения проекта выступили производитель товаров бытовой химии «Новбытхим», производитель упаковок «Полиграфоформление-ФЛЕКСО», производитель профессиональной косметики для волос Estel.

Результаты исследований способов повышения эффективности формирования ворсового покрытия в технологии электрофлотирования были использованы для увеличения производительности технологического процесса на ООО «Синтез».

Стартап по замене латексного связующего в тафтинговых напольных покрытиях термопластичными пленками стал участником акселерационной

программы Университета промышленных технологий и дизайна в 2023 г. Анализируется потенциал внедрения на фабрике ООО «Нева Тафт».

Основные характеристики новых технологий и материалов

Технология крашения полиэфирных материалов позволяет проводить процессы при температуре, не превышающей 100 °С, с получением интенсивных и устойчивых окрасок, что предопределяет возможность экономии тепловой и электрической энергии. Рекомендуемые интенсификаторы по сравнению с традиционными являются низкотоксичными веществами. Так, самое токсическое действие, которое оказывает интенсификатор на одноклеточные водоросли, обозначено на рисунке 2 красным цветом и составляет 10-20 %. Значения ингибирования флуоресценции от -20 до 20 % (а эта самая большая область) указывают на пределы концентрации, не влияющие на жизнедеятельность одноклеточных тест-объектов.

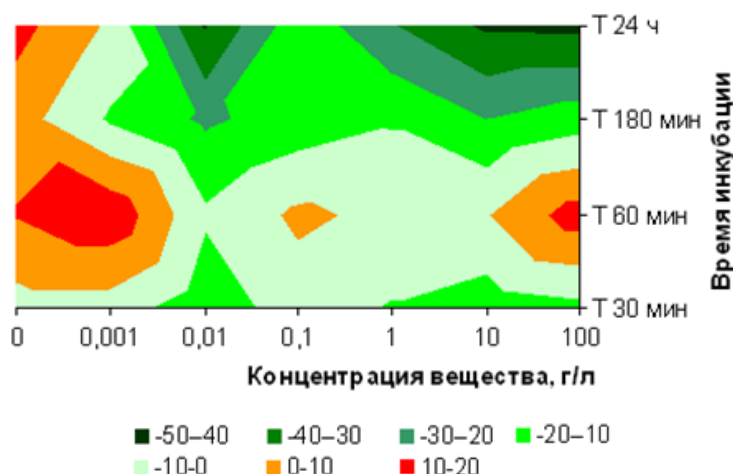


Рисунок 2. Ингибирование флуоресценции культуры водорослей *Chlorella vulgaris* с раствором разработанного интенсификатора

Использование четвертичных аммониевых солей в процессах колорирования текстильных материалов из полиамидных волокон позволяет проводить процесс с применением более мягких кислотных агентов и в результате решить известную проблему – получение ярких и равномерных окрасок на волокнистом субстрате с помощью кислотных красителей при сохранении физико-механических свойств текстильного материала.

Создана совмещенная технология крашения и биостойкой отделки целлюлозных текстильных материалов, когда специфические свойства интенсифи-

фикатора крашения проявляются в придании таким материалам устойчивости к микроорганизмам. На рисунке 3 представлены фотографии образцов хлопчатобумажной пряжи, окрашенной активными красителями по традиционной и разработанной технологиям, которые иллюстрируют фунгицидный эффект разработанного интенсификатора крашения.

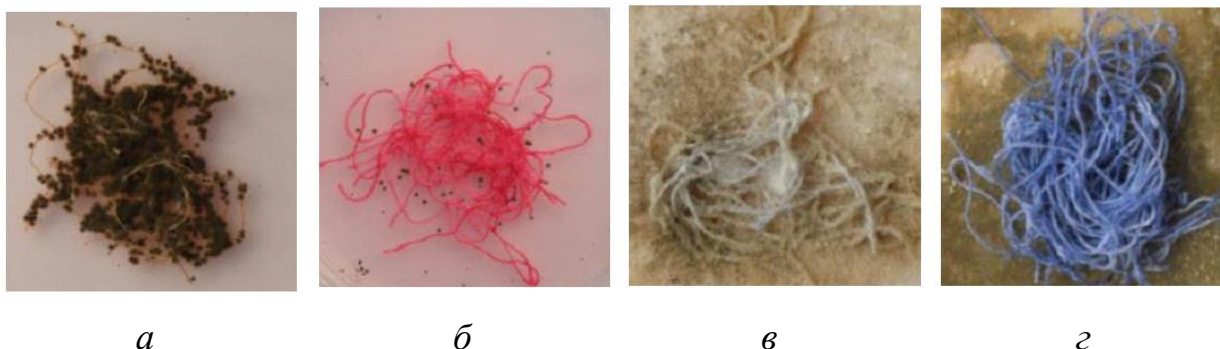


Рисунок 3. Устойчивость окрашенной хлопчатобумажной пряжи к действию плесневых грибов (*Aspergillus niger*, *Paccilomyces varioti*, *Chaetomium globosum*, *Trichoderma viride*, *Penicillium funiculosum*):

а, в – по традиционной технологии;

б, г – по разработанной технологии;

а, б – краситель Reactive Red 35; в, г – краситель Reactive blue 13

Разработанная технология получения четвертичных аммониевых солей предусматривает использование российского сырья, стандартного оборудования и отчасти решает проблему импортозамещения. В условиях электрофильного катализа выход более 80 % достигается через 10 мин.

Технологические решения по модификации полипропиленового волокна позволяют расширить область применения волокнистых материалов из полипропилена и приблизиться к решению проблемы переработки отходов синтетических полимеров. В современном мире продукты гидрокрекинга рассматривают как альтернативный источник топлива, однако при термической деструкции содержатся нежелательные для топлива соединения класса олефинов, а также циклического и ароматического рядов. В результате выполнения экспериментальной части работы показал, что в составе продуктов гидрокрекинга немодифицированного и модифицированного полипропиленового волокна солью аммония различен. Так при гидрокрекинге немодифи-

цированного полипропиленового волокна обнаружены нежелательные для топлива вещества. Образец полипропилена, который обработан раствором триметилгексадециламмония с последующей промывкой, позволил получить 90% алканов C_{11} - C_{18} , нежелательных для топлива продуктов не выявлено.

Модель формирования ворсового покрытия, основывающаяся на ориентации позволяет выявить влияние режима нанесения и электрофизических параметров ворса на начальную ориентацию ворса и динамику ее изменения в процессе флокирования. Такая взаимосвязь необходима для определения более точных требований к химической подготовке ворса, обеспечивающей максимальную производительность процесса.

Методика оценки максимального заряда ворса различной природы и геометрических размеров дает новые возможности для оптимизации процесса нанесения ворса в электрическом поле путем выбора геометрических параметров ворса и соответствующей напряженности электрического поля в целях повышения производительности. Использование в расчетах доли максимального заряда ворса открывает возможность использования моделей для ворса разных длин и диаметров.

Предложенный подход к оптимизации процесса электрофлокирования позволяет рассчитать конкретные значения оптимальных коэффициентов зарядки и продолжительности нанесения для получения заданной плотности ворсового покрытия, при этом общие закономерности должны сохраниться для ворса разных геометрических размеров и при разных режимах флокирования. Кроме производительности, в качестве критериев оптимизации процесса производства рулонных флокированных материалов, могут быть предложены использованы максимум плотности ворсового покрытия при заданной длительности нанесения, прочность закрепления ворса в клеевом слое, себестоимость материала.

На рисунке 4 представлена схема установки получения ворса одинаковых геометрических размеров, но с разными электрофизическими характеристиками.

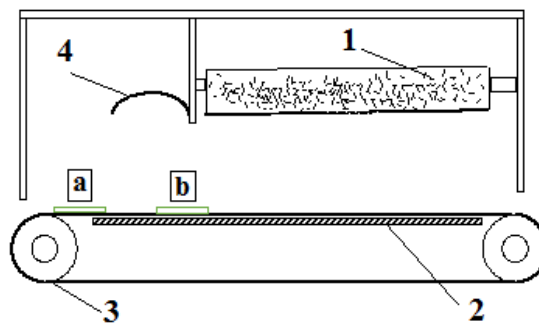


Рисунок 4. Схема установки для получения ворса новым способом с использованием дополнительного электрода (положение «а») и без него (положение «б»): 1 – бункер с сетчатым дном (верхний электрод), 2 – нижний электрод, 3 – транспортер, 4 – дополнительный цилиндрический электрод.

Замена жидкого латексного связующего термопластичными пленками при производстве тафтинговых ковров способна существенно снизить себестоимость выпускаемых напольных покрытий на счет снижения затрат на нагрев и испарение жидкости связующего, поддержание постоянства его температуры и агрегатного состояния, повысить производительность производства за счет уменьшения времени термофиксации.

Заключение

Коллективом молодых ученых выполнен комплекс научных экспериментальных работ и математических расчетов, которые позволили разработать новые технологии получения, модификации и вторичной переработки волокнистых материалов, а также цифровые методы прогнозирования свойств волокон. Разработанные технологии направлены на повышение конкурентоспособности и расширение ассортимента продукции российских предприятий легкой промышленности, содействует повышению эффективности сектора экономики, производящего товары первой необходимости для массового потребления (одежда, интерьерные ткани, медицинский и технический текстиль, волокнистые материалы специального назначения), позволяют достичь технологического суверенитета. Разработанные в работе технологии и цифровые методы получения продукции предприятий легкой промышленности внедрены на ряде отраслевых предприятий Российской Федерации.