

УДК 667.07:766.017

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_121

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ
И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

**MODERN TECHNOLOGIES FOR OBTAINING TEXTILE MATERIALS
WITH SPECIAL PROPERTIES AND THEIR FIELDS OF APPLICATION**

А.М. КИСЕЛЕВ, Е.В. РУМЯНЦЕВ, О.И. ОДИНЦОВА, В.Е. РУМЯНЦЕВА

A.M. KISELEV, E.V. RUMYANTSEV, O.I. ODINTSOVA, V.E. RUMYANTSEVA

(Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Ивановский государственный химико-технологический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)

(St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design,
Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: color_textiles@mail.ru; odolga@yandex.ru; varrim@gmail.com

Представлен обзор современных инновационных технологий модификации, колорирования и облагораживания текстильных материалов и изделий с улучшением их качества и сообщением новых свойств, в том числе за счет использования наноразмерных систем и нанотехнологических процессов. Показано изменение комплекса свойств объектов при переходе к нанометровым системам, а также применение наноразмерных систем и нанотехнологий для сообщения специальных свойств текстильным материалам. Обобщены успехи нанотехнологий в области текстильного производства. Приведен обзор "косметических" тканей на основе целлодекстрина в форме наноконтейнера, в полость которого инкорпорированы наночастицы веществ заданного функционального назначения. Описаны коллоидные растворы, содержащие наночастицы серебра, обладающие высокой антибактериальной активностью для обработки материалов медицинского назначения. Рассмотрены свойства ткани из модифицированного полиэфирного волокна "Trevira CS", используемой для оформления интерьеров общественных помещений и салонов транспортных средств. Представлены достижения в области "электронного" текстиля ("Е-текстиль") и новшества в области получения "тканей-хамелеонов". Отражены разработки "биометрических боевых одежных комплексов" за рубежом и специального текстиля,

способного к изменению окраски под воздействием внешних энергетических факторов в России. Рассмотрен процесс модификации текстильных материалов при помощи нанесения нанопокровов методом магнетронного ионно-плазменного распыления наночастиц металлов. Охарактеризованы материалы с селективным высвобождением лекарственных средств и высокотехнологичные биологически активные изделия технического и медицинского назначения на основе льна и льнонаноконструктов. Описаны текстильные материалы, модифицированные препаратами на основе нанодисперсий и наномульсий. Приведены биомиметические системы, которые можно рассматривать как новые материалы, полученные в результате реализации стратегии "воспроизводящего синтеза".

A review of modern innovative technologies for modifying, coloring and refining textile materials and products with improving their quality and imparting new properties, including the use of nanoscale systems and nanotechnological processes, is presented. A change in the complex of objects properties during the transition to nanometer systems is shown, as well as the use of nanoscale systems and nanotechnologies to impart special properties to textile materials. The progress of nanotechnologies in the field of textile production is summarized. A review of "cosmetic" tissues based on cellodextrin in the form of a nanocontainer, in the cavity of which nanoparticles of a given functional purpose substances are incorporated, is given. Colloidal solutions containing silver nanoparticles with high antibacterial activity for processing medical materials are described. The properties of the fabric made of modified polyester fiber "Trevira CS", used for interior design of public spaces and vehicle interiors, are considered. Achievements in the field of "electronic" textiles ("E-textile") and innovations in the field of obtaining "chameleon fabrics" are presented. The developments of "biometric combat clothing complexes" abroad and special textiles capable of changing color under the influence of external energy factors in Russia are reflected. The process of modifying textile materials by applying nanocoatings by magnetron ion-plasma sputtering of metal nanoparticles is considered. Materials with selective release of drugs and high-tech biologically active products for technical and medical purposes based on flax and flax nanocomposites are characterized. Textile materials modified with preparations based on nanodispersions and nanoemulsions are described. Biomimetic systems are presented, they can be considered as new materials obtained as a result of the implementation of the "reproducing synthesis" strategy.

Ключевые слова: текстиль, отделочные технологии, модификация, "Е-текстиль", метод магнетронного ионно-плазменного распыления, наночастицы металлов, "ткани-хамелеоны", целлодекстрин, наноконтейнер, наноконструкты, нанодисперсии, наномульсии, биомиметические системы, стратегии "воспроизводящего синтеза", специальные свойства изделий, области применения.

Keywords: textiles, finishing technologies, modification, "E-textile", magnetron ion-plasma sputtering, metal nanoparticles, "chameleon fabrics", cellodextrin, nanocontainer, nanocomposites, nanodispersions, nanoemulsions, biomimetic systems, "reproducing synthesis" strategies, special properties of products, areas of application.

В настоящее время, когда остро стоит вопрос о производстве отечественной конкурентоспособной продукции, необходим синтез традиционных (механических, химических) и инновационных (нано-, био-, информационных и когнитивных) технологий, который может служить основой для создания интеллектуального текстиля с улучшенными, принципиально новыми и специальными свойствами.

Фокусирование и сочетание процессов физики, химии, биологии на масштабном

размерном уровне 1...100 нм открывает новые закономерности в организации и функционировании объектов, имеющих особую структуру и расширяет спектр областей применения различных, в том числе текстильных, материалов с новыми, в ряде случаев уникальными, свойствами. По данным табл. 1 можно проследить, как изменяются или возникают новые свойства при переходе к наноразмерным системам [1].

Т а б л и ц а 1

Свойства	Характеристика нанообъекта
Механические	Сверхвысокая прочность вследствие усиления межмолекулярных взаимодействий между частицами ультрамалого размера
Оптические	Формирование структурной окраски по оптическому механизму при размере частиц, соизмеримом с длиной волны света
Химические, диффузионные	Резкое повышение концентрации взаимодействующих частиц и скоростей реакций Увеличение скорости диффузии частиц в соответствии с законом Стокса-Эйнштейна
Каталитические	Усиление каталитической активности и скорости катализа вследствие увеличения рабочей поверхности катализатора
Электрические	Возможна обратная трансформация в системе "диэлектрик-проводник"
Квантово-электронные	Возникновение "туннельного эффекта" – основы микро- и нанозлектроники и микроскопии
Теплозащитные	Усиление теплоизолирующего эффекта, благодаря увеличению внутренней поверхности и объема воздуха в микропорах материала

В индустрии текстиля и одежды на первый план выдвигаются инновации, способные сообщить им новые потребительские и специальные свойства (самоочищение, защита от излучений, мембранные и электропроводные эффекты, терморегулирование, ароматизация, гидрофильно-липофильный баланс, лечебные функции и др.). Использование нанотехнологий дает возможность сообщить текстильному материалу улучшенные качества: мягкость, гидро- и олеофобность, противозагрязняемость, "память формы", структурную окраску, способность к мониторингу состояния организма и окружающей среды, защитные функции и др.

К успехам нанотехнологий в области текстильного производства можно отнести:

- электроформование нановолокон, наполнение волокон наночастицами с образованием нанокомпозитов;
- обработка текстильного материала низкотемпературной плазмой с модифика-

цией его поверхности на наноразмерном уровне;

- использование нанодисперсий и наноэмульсий для отделки текстиля с сообщением комплекса улучшенных свойств;
- формирование нанопокровов и получение нанокомпозитов, в том числе с образованием слоев жидких полимеров с применением методов послойного отложения, золь-гель технологии и нанесения из газовой фазы.

В моделях современной одежды используются самоочищающиеся ткани, способные к отторжению загрязнений без ухудшения основных потребительских свойств. Эффект самоочищения тканей достигается фотокаталитической деструкцией органических соединений, а также посредством формирования на поверхности материала нанопористых пленок на основе кремнийорганических соединений или политетрафторэтилена.

Для производства одежды с комфортным пододежным пространством разработаны специальные "дышащие" ткани с мембранным эффектом, способные к быстрому поглощению и десорбции влаги с поверхности волокнистого материала.

Определенный интерес представляют так называемые "косметические" ткани на основе целлюлозы в форме наноконтейнера, в полость которого инкорпорированы наночастицы веществ заданного функционального назначения (отдушки, парфюмерные средства, витамины, лекарственные препараты и др.) с обеспечением фиксации наноконтейнера на текстильном материале. Изготовление наноконтейнера целесообразно осуществлять из хитозана, который смягчает кожу, предохраняет ее от обезвоживания, а в нужный момент разрушается в результате механического воздействия или нагревания с выделением активных соединений. Например, высокий противощелочный эффект достигается при введении в хитозановую капсулу ретинола.

Текстильные материалы с терморегулируемыми свойствами можно получать при включении в их структуру микрокапсул с активным полимером, способным к изменению фазового состояния в зависимости от температуры окружающей среды. При понижении температуры такой полимер находится в твердом агрегатном состоянии и выполняет функцию защиты от холода, а при повышенной – переходит в жидкую фазу и способствует охлаждению организма посредством облегчения выделения тепла.

В последние десятилетия распространенным направлением является использование наночастиц металлов (Ag, Cu, Pd, W, Vi, Co, Ni, Ti, Fe и др.) для придания текстильным материалам антимикробных и некоторых других свойств [2...5].

В настоящее время имеется достаточно много информации о применении наноразмерных систем и нанотехнологий для модификации, колорирования и сообщения специальных свойств текстильным материалам, о чем свидетельствуют данные табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Наименование процесса (объекта)	Сущность процесса	Достижимый эффект
Полимеры (волокна и ткани)	Структурирование тканей с помощью наночастиц. Синтез полимеров и волокон с заданными свойствами МЭМС и НЭМС-датчики контроля текстильных материалов	Получение полимеров и волокон нового поколения, создание интеллектуального текстиля
Интеллектуальный ("умный") текстиль	Текстильный материал с наночастицами и нанопокрывтиями, на основе которого создаются изделия с новыми свойствами	"Электронный" и терморегулируемый текстиль, одежда с мониторингом состояния организма и окружающей среды, токопроводящие ткани, тканевые солнечные панели и др.
Биосовместимая одежда	Создание биоактивного текстиля обработкой наноразмерными биоактивными препаратами (энзимы, бактериальные культуры и др.)	Биомиметические материалы, конструирование текстиля с помощью микроорганизмов, биомаркеры и др.
Нанопокрывтия (нанопленки) для текстиля	Создание нанопленок особой структуры на поверхности текстильного материала при импрегнировании нанодисперсиями и наноземлюльсиями	Комплексные эффекты специальных видов отделки, самоочищения, защиты от излучений и др.
Производство и контроль текстиля	Повышение точности, скорости и надежности регулирования физико-химических, биологических и производственно-технологических процессов	Интеграция НЭМС-датчиков, акустических систем, нанофабрик синтеза и биосинтеза, нанокатализ полимеризационных процессов, спецдатчики контроля качества текстильных материалов
Новые материалы	Наномодификация с целью получения новых видов текстильных материалов с широким спектром функционального назначения	Спецматериалы для военнослужащих, силовых структур и служб, ткани на основе нанотрубок, металлизированные ткани, резины, пластики, композиционные материалы и др.

Структурная окраска (окраска без красителя)	Образование окраски по оптическому механизму на основе явлений интерференции, дифракции и рассеяния световых лучей	Радужные и опалесцирующие эффекты окраски при прохождении света через наноразмерные слои диоксида кремния и оксидов металлов с различными значениями коэффициента преломления
Антимикробный текстиль	Использование наночастиц серебра и других металлов для биоцидной отделки текстильных материалов	Защита человека от бактерий, грибов, вирусов и заболеваний
"Электронный" текстиль	Токопроводящие волокна и нити, кодированные тканые структуры, электрохромные красители, токопроводящие печатные составы, защитные экраны	Термоизолированная одежда, мобильная связь, интернет, одежные дисплеи, навигация, мониторинг состояния человека и окружающей среды и др.
"Ткани-хамелеоны"	Применение термохромных красителей для трансформации цвета при изменении их структуры, чувствительной к изменениям температуры	Изменение цвета текстильного материала (одежды) при изменении температуры окружающей среды
Оптические эффекты одежды	Внедрение в структуру текстиля (одежды) микропроцессоров, способных к излучению света в темноте, оптоволоконная техника, люминесцентные красители	"Сигнальная" одежда с люминофорами, изменение линий одежды посредством "невидимых линий" и "виртуального камуфляжа"
Одежда с прогнозом погоды ("Cloth-Climate control")	Формирование структуры текстильного материала, содержащего нанодатчики, фиксирующие значения температуры, влажности и атмосферного давления	Планирование использования одежды в зависимости от погодных условий. Спецодежда обслуживающего персонала метеостанций
Термоодежда	Внедрение в структуру текстильного материала микротрубок с активным терморегулятором, изменяющим фазовое состояние в зависимости от температуры окружающей среды	Комфортная одежда в интервале температур от -70 до $+60^{\circ}\text{C}$
Самоочищающиеся ткани и одежда ("эффект лотоса", "одежда для ленивых")	Супергидрофобизация поверхности текстильных материалов, применение гибридных оксидов титана и металлов с фотокаталитической активностью. Формирование нанопленок на основе аминокремнийорганических соединений и фторуглеродных соединений	Одежда и другие изделия с высоким противозагрязняемым эффектом и другими улучшенными свойствами (несминаемость, мягкость, маслоотталкивание, мембранный эффект, быстрое поглощение и десорбция влаги, отсутствие необходимости в стирке, глажении, длительное сохранение прочности и формы изделия)

Известна нанотехнология получения сверхпрочного текстильного волокна, нити на основе которого имеют диаметр $5 \cdot 10^{-7}$ м и образованы десятками миллионов нанотрубок, соединенных полимерным связующим веществом. Из таких волокон изготавливают облегченные бронежилеты, спортивный инвентарь, одежду и белье с улучшенными потребительскими и санитарно-гигиеническими показателями. Методом биохимического синтеза наночастиц металлов в обратных мицеллах получены коллоидные растворы, содержащие наночастицы серебра, обладающие высокой антибактериальной активностью. Применение таких растворов для обработки материалов медицинского назначения существенно повышает эффективность лечебного процесса.

Данная технология перспективна и для изделий бытового назначения, требующих наличия биоцидных свойств [6].

Для оформления интерьеров общественных помещений и салонов транспортных средств предлагаются ткани из модифицированного полиэфирного волокна "Trevira CS", имеющего повышенную устойчивость к возгоранию, обусловленную изменением структуры волокнообразующего полимера на молекулярном уровне. Такие ткани одновременно обладают формоустойчивостью, воздухопроницаемостью и грязеотталкивающими свойствами [7].

В мебельной промышленности созданы образцы продукции с обивкой, способной к изменению цвета при контакте с телом

человека и выделению приятного запаха, аромат которого выбирается заказчиком и сохраняется в течение длительного времени.

В области "электронного" текстиля ("Е-текстиль") разработаны беспроводные дисплеи, размещаемые на элементах одежды и способные к регистрации уровня эмоционального состояния ее владельца. Такие дисплеи имеют малую толщину, характеризуются мягкостью и способствуют расширению возможностей в дизайнерском оформлении костюма. Возможна передача изображения с датчика MMS, расположенного на одежде в виде нашивки, на мобильные телефоны. Известны ткани из структуры дисплеев на основе "электронной" пряжи, полученной из покрытых специальными чернилами токопроводящих и непроводящих нитей, способных к проявлению термохромного эффекта. Нагрев таких нитей под действием слабого (безопасного) тока приводит к изменению цвета чернил с визуальным проявлением рисунка в форме конфигурации нитей в соответствии с творческим проектом дизайнера текстиля. Существует одежда, по сути, представляющая собой локальную компьютерную сеть, способную к взаимодействию с системой Интернет. Для интеграции микротранзисторов, в структуру текстильного материала включены тонкие армированные нити со специальным покрытием, а также композиционные материалы, состоящие из нескольких слоев хлопка и матричных нитей, содержащих миллионы транзисторных микроэлементов.

В США разработаны "биометрические боевые одежные комплексы", имеющие набор микронасосов, топливных элементов, датчиков и дисплеев для регистрации вида и концентрации вредных и токсичных веществ. Военное обмундирование данного типа, базируясь на специфическом индивидуальном запахе человеческого тела (по аналогии с дактилоскопией), позволяет контролировать состояние здоровья военнослужащего, включая параметры температуры, давления и пульса. Подобная одежда может использоваться также медицинским персоналом и спортсменами высокого уровня подготовки.

В России в последние годы активизировались исследования по созданию специального текстиля, способного к изменению окраски под воздействием внешних энергетических факторов. Это свойство имеет большое значение для камуфлированных (защитно-маскировочных) тканей, которые должны обладать расцветкой и окраской, способной к изменению и адаптации к окраске окружающей местности. В качестве термо- и фоточувствительных красителей применяются сложные системы на основе жидких кристаллов или работающие по принципу кислотно-основного взаимодействия красителя с проявителем. В обоих случаях для сохранения свойств этих систем применяется техника микрокапсулирования. В качестве термохромных красителей используются системы в форме жидких кристаллов, среди которых выделяются нематические, строго ориентированные и холестериновые структуры с послойной, постепенно изменяющейся ориентацией. Известна также система термохромных красителей, построенная на принципе кислотно-основного взаимодействия, когда проявление цвета происходит в результате реакции ароматической формы красителя с проявителем. Примером такой бинарной системы может служить взаимодействие лактона фиолетового кристаллического с бисфенолом А при температуре, соответствующей температуре плавления растворителя.

Ассоциацией "Цемесс" (Москва) реализован проект по продвижению на российский рынок текстиля с колористическими эффектами, связанными с применением красителей, изменяющих свой цвет при изменении температуры ("ткани-хамелеоны", "джинсы-хамелеоны") [8]. Имеется также информация о создании так называемых "амино-джинсов", которые являются источником аргинина – аминокислоты, способной к полимеризации с образованием длинных молекулярных цепей, связанных пептидными мостиками. Присутствие аргинина омолаживает кожу человека с одновременными эффектами ароматизации и антибактериальной отделки, которые сохраняются в течение двух лет в условиях интенсивной эксплуатации изделий [9].

Для создания "сигнальных" текстильных материалов с защитными функциями используются одежные ткани, окрашенные дисперсными, активными или прямыми флуоресцентными красителями. Имеются сведения [10] о создании нового поколения флуоресцентных красителей, устойчивых к коагуляции при высоких температурах и обладающих повышенной красящей способностью. В настоящее время сигнальная одежда оснащается покрытиями, содержащими люминофоры неорганической природы, вызывающие свечение в темноте. При освещении любым источником света в течение 7...10 минут одежда с таким покрытием излучает свет в течение всей ночи, что соответствует требованиям европейского стандарта. Светосигнальная одежда имеет большое значение и находит применение у работников дорожных, аварийных и пожарных служб, сотрудников МЧС, МВД, ЖКХ, медицинских и детских учреждений.

Одним из распространенных приемов при создании текстильных материалов со специальными свойствами является процесс микро-(нано)капсулирования. Обязательными требованиями к свойствам микрокапсул является их способность к заключению, изоляции, сохранению и высвобождению содержащихся в них веществ. Размеры контейнеров (капсул) лежат в диапазоне $1...1000 \cdot 10^{-6}$ м. Микрокапсулирование применяется для создания фото- и термохромных эффектов, для чего разрабатываются специальные микро- нанокапсулированные гидро- и пьезохромные элементы. Технология капсулирования применяется также для ароматизации текстиля, одежды, мебели, в качестве активирующих (тонирующих) отделок тканей и спортивных костюмов и, с достаточно высокой эффективностью, в медицинских целях [11].

Большое значение имеет процесс модификации текстильных материалов нанесением нанопокровий методом магнетронного ионно-плазменного распыления наночастиц металлов. Таким методом получен специальный материал "Нанотекс", предназначенный для экранирования электромагнитных излучений в широком диапазоне длин волн. Такая ткань может исполь-

зоваться для локальной защиты помещений, изготовления защитной одежды, чехлов для приборов и оборудования, в качестве защитных устройств для предотвращения утечки информации, а также при выпуске декоративных и текстильных изделий. Материал под металлизацию состоит из синтетических монофиламентных нитей диаметром $30...50 \cdot 10^{-6}$ м, плотностью $30...160$ нитей/см и поверхностной плотностью $10...50$ г/м² с отверстиями между основными и уточными нитями в интервале $[d - 9d]$, где d – диаметр нити. Металлизация материала "Нанотекс" производится магнетронным напылением наночастиц металлов (Ag, Cu, W и др.) в вакууме с лицевой, изнаночной или с обеих сторон с регулированием толщины формируемого нанопокровия. Данная технология может быть использована для производства изделий медицинского назначения, изготовления дезинфицирующих салфеток, в конструкциях фильтров для очистки воды и воздуха, защиты объектов в темное время суток [12], выпуска изделий специального назначения [13], подготовки к колорированию шерстяных материалов [14], изготовления многослойных, в том числе теплоизолирующих, материалов [15], для получения материалов, отражающих ИК-излучения (патент Горберга Б.Л., Веселова В.В., Беловой И.Ю., Васильева Д.М., Королевой С.В. Материал отражающий ИК-излучения. Патент РФ 2045590; опубл. 12.05.2009).

Еще одна нанотехнология, нашедшая применение в модификации, колорировании и облагораживании волокнистых материалов, связана с использованием низкотемпературной плазмы тлеющего, барьерного или коронного разряда. Степень ионизации газа в неравновесной низкотемпературной плазме относительно невысокая ($10^{-6}...10^{-4}$), концентрация электронов составляет $10^{15}...10^{18}$ ед/м³, а их средняя энергия при температуре $10^4...10^{50}$ К – $1...10$ эВ [16], [17]. При воздействии низкотемпературной плазмы на текстильный материал наблюдается два основных эффекта: изменение поверхностного слоя толщиной $5...10$ нм и "глубинный" эффект, состоящий в образовании активных радикалов, вызываю-

щих протекание процессов дегидрирования и сшивки в слое толщиной $5 \cdot 10^{-6}$ м [18]. Повышение качества колорирования и отделки при интенсификации соответствующих процессов низкотемпературной плазмой доказано при обработке шерстяных [19], [20], а также кожевенных и меховых материалов [21].

В ассортименте современного текстиля выделяются образцы одежды, обладающей специфической "памятью формы" и способной к изменению линейных размеров при колебаниях температуры. Такая одежда не мнется даже при сильных внешних воздействиях и восстанавливает форму через 30 с после снятия нагрузки. Она не загрязняется, не электризуется, обладает эффектами водо- и маслоотталкивания при сохранении высокого уровня санитарно-гигиенических свойств. Подобные изделия не требуют стирки, глажения и химической чистки в течение длительного времени.

Имеются сведения об одежде с эффектом терморегуляции за счет введения в структуру текстиля тонких трубок длиной до 50 м, содержащих нетоксичную охлаждающую жидкость. Такая специальная одежда предназначена, например, для рабочих атомных станций, где температура в зоне обслуживания реакторов достигает 70°C . Известны также термокостюмы, имеющие воздушные прокладки (структура аэрогеля), обеспечивающие согревание человека при температурах ниже 80°C .

В настоящее время производство нановолокон специального назначения реализуется, главным образом, за счет наполнения традиционных волокнообразующих полимеров наноконпонентами различной природы и конфигурации, а также путем выработки ультратонких волокон. В качестве наполнителей широко используются углеродные нанотрубки с одной или несколькими стенками, что придает волокнам уникальные свойства: они в 6 раз прочнее стали и в 100 раз легче нее. При заполнении углеродными нанотрубками поливинилспиртового волокна по коагуляционной системе прядения оно становится в 120 раз выносливее стальной проволоки и в 17 раз легче волокна "Кевлар", используемого для про-

изводства бронежилетов. Из таких волокон изготавливаются специальные взрывозащитные костюмы и материалы для защиты от излучений. Наполнение химических волокон наночастицами глинозема в виде мельчайших хлопьев обеспечивает высокую тепло- и электропроводность, химическую активность, огнестойкость, механическую прочность и защиту от УФ-излучений. Введение в структуру полипропиленовых волокон 15% наночастиц глинозема позволяет повысить интенсивность окрасок при их окрашивании различными классами красителей.

Ультратонкие волокна, диаметр которых не превышает 100 нм, имеют высокую сорбционную и каталитическую активность. Известны разработки, направленные на создание синтетических белковых волокон, имитирующих структуру паутины и имеющих непревзойденные физико-механические показатели. На основе некоторых растений и микроорганизмов получены полимерные белковые волокна толщиной 80...90 нм, которые, обладая сверхпрочностью и плотностью, могут заменить арамидные нити в бронежилетах, использоваться в качестве хирургических нитей, для изготовления спортивного инвентаря и других изделий, требующих сочетания мягкости и прочности.

Повышенный интерес представляет информация о модификации и отделке текстильных материалов с использованием нанодисперсий и наноэмульсий. При этом обработанные материалы приобретают свойства гидро- и олеофобности, пониженной горючести, формоустойчивости, противозагрязняемости и самоочищения, пониженной электризуемости и биостойкости. При расположении на поверхности волокон гидрофобные наночастицы (например, фторкарбонных сополимеров) образуют новую специфическую поверхность ("зонтик"), которая не перекрывает капиллярно-пористой структуры субстрата, оставляя поры открытыми для воздухообмена. Полученные эффекты характеризуются высокой устойчивостью к истиранию, многократным стиркам и химической чистке. Наноразмерные отделочные препа-

раты открывают принципиально новый путь повышения качества текстильных материалов и изделий с сообщением им комплекса новых улучшенных свойств. Примером может служить применение гидрофильных силиконовых наноэмульсий, которые получают путем модификации химической структуры аминокремнийорганических соединений. Данная система имеет размер частиц 20...30 нм и обладает способностью к самоэмульгированию в присутствии молекул ПАВ (рис. 1):

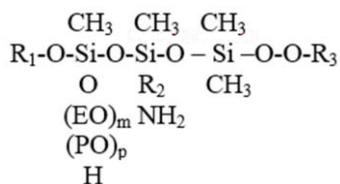


Рис. 1

В химической структуре такого препарата гидрофильные группы введены непосредственно в цепочку кремнийорганического полимера, содержащего аминогруппы, что способствует его активному самоэмульгированию. При импрегнировании текстильного материала наноэмульсией подобного типа ему сообщается мягкий гриф, эластичность, устойчивость к мокрым работкам. Отличительной способностью наноэмульсий является их способность к гидрофилизации гидрофобных синтетических материалов, что позволяет интенсифицировать процессы их колорирования с получением более ярких и прочных окрасок. Применение наноэмульсий характеризуется комплексным действием, когда в результате однократного аппретирования текстильного материала ему сообщается несколько улучшенных потребительских и специальных свойств.

Другие примеры текстильных материалов со специальными свойствами затрагивают новые виды тканей и напольных покрытий, имеющих в своей структуре соединительные волокна и самоорганизованную сеть кремниевых чипов, представляющих собой сенсоры и светодиоды, способные реагировать на изменение освещенности, температуры, влажности и давления. Они могут указывать светящиеся маршруты

движения, а в случае пожара предоставлять информацию о распространении огня. Технология "Zoneed Aerodynamic" используется для изготовления костюмов для конькобежцев и лыжников, состоящих из шести различных материалов, сочетание которых оптимизирует аэродинамические свойства спортивной одежды. Также созданы облегчающие и водоотталкивающие костюмы для пловцов в соответствии с гидродинамическими требованиями, которые облегчают скольжение в воде и повышают скорость движения спортсмена.

К категории текстиля специального назначения могут быть отнесены материалы с селективным высвобождением лекарственных средств, которые в сочетании с биосовместимыми разлагаемыми полимерами нашли применение в создании медицинских изделий (шовные нити, хирургические имплантаты, перевязочные материалы и др.). В настоящее время широкое распространение получили лечебные аппликационные материалы и гель-композиции, содержащие лекарственные препараты пролонгированного действия с их регулируемым массопереносом к очагу поражения (заболевания), позволяющие значительно повысить эффективность и улучшить условия проведения лечебного процесса для широкого спектра заболеваний (хирургия, комбустиология, ревматология, урология, онкология, косметология и др.) Результаты развития специального текстиля медицинского назначения отражены в работах [22...33]. Достаточно устойчивую нишу занимает медицинский текстиль с ультратонкими слоями наночастиц серебра и других металлов на его поверхности.

В рамках обзорной статьи целесообразно сказать о, так называемых, биомиметических системах, которые можно рассматривать как новые материалы, полученные в результате реализации стратегии "воспроизводящего синтеза", подобно синтезу, существующему в живых организмах (природных биологических объектах) [34]. К таким материалам можно отнести волокна "shin-gossen", способные к воспроизведению структурной окраски по оптическому механизму и имеющие повышенную

гидрофильность, волокна со свойствами "паучьего шелка", материалы с суперадгезией к различным поверхностям (принцип "лапки геккона") и супергидрофобностью и незагрязняемостью ("эффект лотоса"). Открываются новые пути создания полимерных (в том числе текстильных) материалов, когда принципы биомиметики позволяют решить проблему замены токсичных химических технологий на экологически безопасные биопроцессы [35...40].

В данном направлении разработаны высокотехнологичные биологически активные изделия технического и медицинского назначения на основе льна и льнонаноконструктов. Создано биозащищенное нативное волокно "Рослан" для технических целей и гигроскопичное отбеленное льняное волокно "Рослан М" для материалов медицинского профиля. При этом технологические процессы включают:

- иммобилизацию биологически активных препаратов в нативных волокнах непосредственно после их механической модификации для высокотехнологичных нетканых материалов (изготовление формопрессованных деталей в автомобилестроении, объемных утеплителей для стройиндустрии);

- механическую и химическую модификацию сырья с последующей иммобилизацией в отбеленных волокнах льна биоцидных препаратов, в том числе наночастиц металлов для нетканых материалов санитарно-гигиенического, косметологического и медицинского назначения (перевязочные средства, комплекты белья, одноразовые салфетки и др.) [41].

Заслуживают внимания результаты исследований, направленных на создание технологии формирования структурной окраски по оптическому механизму с применением наноразмерных интерференционных пигментов на основе гибридных оксидов металлов и неметаллов, процессов отделки и облагораживания текстиля с использованием гидрофильных наноэмульсий и способов самоочистки и защиты текстильных материалов от излучений посредством нанесения нанопокровов, содержащих наночастицы диоксида титана и

других элементов с высокой фотокаталитической активностью [42...44].

Реализация представленных в обзоре технологий, позволит осуществить выпуск конкурентоспособных отечественных текстильных материалов и изделий различного, в том числе специального назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кричевский Г.Е. Нано-, био-, химические технологии в производстве нового поколения текстиля, волокон и одежды. – М., 2011.
2. Петрова Л.С., Лупина А.А., Зайцева А.О., Одинцова О.И. Использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С. 81...85.
3. Дмитриева А.Д., Кузьменко В.А., Одинцова Л.С. (Петрова Л.С.), Одинцова О.И. Синтез и использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2015, Т.58, № 8. С. 67...70.
4. Ahmed G., Hassabo E., Mehrez E., El-Naggar, Amina L., Mohamed, Ali A. Hebeish Development of multifunctional modified cotton fabric with tri-component nanoparticles of silver, copper and zinc oxide // Carbohydrate Polymers. – 2019, v. 210, № 15. P.144...156.
5. Букина Ю.А., Сергеева Е.А. Антибактериальные свойства и механизм бактерицидного действия наночастиц и ионов серебра // Вестник Казанского технологического университета. – 2012, № 14. С.170...172.
6. Осипов Б.П. // Журнал физической химии. – 2003, № 2. С. 34...38.
7. Хаханина Т.И., Осипов Б.П. Электронные методы исследований // Обзор ЦНИИТЭИЛП. – 2001.
8. Андриевский А.М., Белов А.Е. Эра "умного" текстиля наступила и в России // Текстильная промышленность. – 2003, № 3. С. 51...53.
9. Андриевский А.М. Джинсы нового века: "умный" и "глупый" деним // Рынок легкой промышленности. – 2004, № 36. С. 19,20.
10. Андриевский А.М. Сигнальная одежда: люмоденим – новая джинсовая ткань, светящаяся в темноте // Рынок легкой промышленности. – 2005, № 43. С. 36,37.
11. Андриевский А.М. Колорирование текстиля: "умный" и "глупый" текстиль в формировании индустрии моды // Текстильная химия. – 2004, № 2. С.77...79.
12. Иванова В.С., Горберг Б.Л. Материал для защиты в темное время суток // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.– 2005, № 1. С.90...93.
13. Иванова В.С., Веселов В.В., Горберг Б.Л. Динамические процессы в изделиях специального

назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 1. С. 132, 133.

14. Горберг Б.Л. Современное состояние и перспективы использования плазмохимической технологии для обработки текстильных материалов // Текстильная химия. – 2003, № 1. С. 59...68.

15. Гольберг Б.Л., Иванов А.А., Мамонтов О.В. и др. Модифицирование текстильных материалов нанесением нанопокрывтий методом магнетронного ионно-плазменного распыления // Российский химический журнал. – 2011. Т. 55. № 3. С. 7...13.

16. Энциклопедия низкотемпературной плазмы (под ред. Ю.А.Лебедева, Н.А.Платэ, В.Е.Фортова). – М.: Янус-К, 2006.

17. Полак Л.С. Кинетика и термодинамика химических реакций в низкотемпературной плазме. – М.: Наука, 1965.

18. Осуда Н. Плазменная полимеризация и плазменная обработка полимеров //Высокомолекулярные соединения. – 1988. Т. 80А, № 9. С. 1815...1831.

19. Блиничева И.Б., Мельников Б.Н., Максимов А.И. Применение низкотемпературной плазмы. – М.: Обзор ЦНИИТЭИЛП, 1985.

20. Садова С.Ф., Журавлева С.М. Перспективы обработки шерстяных тканей низкотемпературной плазмой //Директор (Легпромбытгиздат). – 2000, №8. С. 10...11.

21. Абдулин И.Ш. Высокочастотная плазменная обработка в динамическом вакууме капиллярно-пористых структур: теория, практика, применение. – Казань, 2004.

22. Кричевский Г.Е. Нанотехнологии в производстве "умных" текстильных материалов и изделий из них //Текстильная химия. –2004, № 3. С. 33...38.

23. Жуковский В.А. Полимерные эндопротезы для герниопластики. – СПб: ЭскулапЮ, 2011.

24. Синенченко Г.И., Жуковский В.А., Гайворонский И.В. и др. Послеоперационные грыжи передней брюшной стенки и их хирургическое лечение. – СПб: Элби, 2009.

25. Слущенр Г.Я., Жуковский В.А., Терушкина О.Б. и др. Упругие характеристики полипропиленовых и поливинилиденфторидных мононитей и сетчатых протезов на их основе //Химические волокна. – 2012, № 5. С. 28...32.

26. Жуковский В.А., Хохлова В.А., Анущенко Т.Ю. и др. Полигликозидные антимикробные хирургические нити //Дизайн. Материалы. Технологии. – 2012, № 5 (25). С. 107...110.

27. Жуковский В.А. Полимерные эндопротезы для герниопластики: получение, свойства и возможности совершенствования //Вестник хирургии им. Грекова. – 2011. Т. 170, № 2. С. 82...87

28. Олтаржевская Н.Д., Коровина М.А. Текстиль для медицины: новые лечебные композиционные материалы // Текстильная промышленность. – 2010, № 5. С. 58...62

29. Олтаржевская Н. Д., Швец В. И., Коровина М.А. и др. Выбор состава биополимерной лечебной депо-композиции для использования в различных областях медицины //Биотехнология. – 2016. Т. 32, №1. С. 43...52.

30. Олтаржевская Н. Д., Кричевский Г.Е., Коровина М.А., Гусев И.В. Биополимеры в медицине. Успехи, проблемы, будущее //Биофармацевтический журнал. – 2017. Т. 9, № 2. С. 3...25.

31. Хлыстова Т. С., Колаева А.В., Валуева М. И., Гусев И.В. Природные полимеры для создания раневых покрытий // Сырье и упаковка. – 2014. Т.153, №1. С. 30...31.

32. Chattopadhyay S., Raines R.T. Collagen-Based Biomaterials for Wound Healing // Biopolymers. – 2014, vol. 101. Issue 8. P. 821...833. DOI: 10.1002/bip. 22486

33. Колаева А.В., Гусев И.В., Лунатова И.М., Олтаржевская Н.Д. Особенности создания стерильных материалов "Колегель" и "Колегель-диск" для направленной доставки лекарственных препаратов // Российский биотерапевтический журнал. – 2016. Т. 15, № 1. С. 49...53.

34. Muller T. Biomimetics //National Geographic. – 2008, №5. P. 112...135

35. Кричевский Г.Е. Наноцетинистая лапка //Химия и жизнь. – 2009, № 10. С. 26...28.

36. Hoeshin L, Bruce R, Messerschmidt P.B. //Nature. – 2007. V. 448. P. 338...341.

37. Hill G.C., Soto D.R., Piatie A.M., Full R.G., Kenny T.W. //J. of Royal Society Interface. – 2011, № 2. P. 446...457.

38. Cristopher T., Dobson M. //Nature. – 2003, №18 (25).

39. Hardy J.G., Roemer L.M. Schiebel T.R. // Polymer. – 2008. V. 49 (20). P. 4309...4327.

40. Дебабов В.Г., Бозут В.Г. Природные волокна для будущего //Природа. – 1999, № 2. С.36...46.

41. Морыганов А.П., Галашина В.Н., Дымникова Н.С. Разработка высокотехнологичных биологически активных изделий технического и медицинского назначения на основе льна и льнонаноконкомпозитов // Дизайн. Материалы. Технологии. – 2009, № 4(11) С. 84...90.

42. Киселев А.М., Дащенко Н.В., Демидов А.В. Применение наноразмерных систем для модификации и повышения качества текстильных материалов. – СПб.: СПГУТД, 2013.

43. Дащенко Н.В., Киселев А.М. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 2. С. 64...66.

44. Киселев А.М., Дащенко Н.В., Демидов А.В., Шим В.В. Оценка эффекта механического диспергирования наноразмерных интерференционных пигментов //Вестник СПГУТД, сер. 1. – 2018, № 2. С.45...51.

REFERENCES

1. Krichevsky G.E. Nano-, bio-, chemical technologies in the production of a new generation of textiles, fibers and clothing. - М., 2011.

2. Petrova L.S., Lipina A.A., Zaitseva A.O., Odintsova O.I. The use of silver nanoparticles to impart bactericidal properties to textile materials. Izv.

- universities. Technology of the textile industry. – 2018, No. 6. S. 81...85.
3. Dmitrieva A.D., Kuzmenko V.A., Odintsova L.S. (Petrova L.S.), Odintsova O.I. Synthesis and use of silver nanoparticles to impart bactericidal properties to textile materials. *Izv. universities. Chemistry and chemical technology.* – 2015, V.58, No. 8. S. 67...70.
 4. Ahmed G., Hassabo E., Mehrez E., El-Naggar, Amina L., Mohamed, Ali A. Hebeish Development of multifunctional modified cotton fabric with tri-component nanoparticles of silver, copper and zinc oxide // *Carbohydrate Polymers* . – 2019, v. 210, No. 15. P.144...156.
 5. Bukina Yu.A., Sergeeva E.A. Antibacterial properties and mechanism of bactericidal action of silver nanoparticles and ions // *Bulletin of the Kazan Technological University.* - 2012, No. 14. P. 170 ... 172.
 6. Osipov B.P. // *Journal of Physical Chemistry.* - 2003, No. 2. S. 34 ... 38.
 7. Khakhanina T.I., Osipov B.P. Electronic methods of research // *Review of TsNIITEILP.* – 2001.
 8. Andrievsky A.M., Belov A.E. The era of "smart" textiles has arrived in Russia as well // *Textile industry.* - 2003, No. 3. S. 51 ... 53.
 9. Andrievsky A.M. Jeans of the new century: "smart" and "stupid" denim // *Light industry market.* - 2004, No. 36. S. 19.20.
 10. Andrievsky A.M. Signal clothes: lumodenim - a new denim that glows in the dark // *Light industry market.* - 2005, No. 43.S. 36.37.
 11. Andrievsky A.M. Textile coloring: "smart" and "stupid" textiles in the formation of the fashion industry // *Textile chemistry.* - 2004, No. 2. P.77 ... 79.
 12. Ivanova V.S., Gorberg B.L. Material for protection in the dark, *Izv. universities. Technology of the textile industry.* - 2005, No. 1. P. 90 ... 93.
 13. Ivanova V.S., Veselov V.V., Gorberg B.L. Dynamic processes in special-purpose products // *Izv. universities. Technology of the textile industry.* - 2006, No. 1. S. 132, 133.
 14. Gorberg B.L. Current state and prospects for the use of plasma-chemical technology for the processing of textile materials // *Textile chemistry.* - 2003, No. 1. S. 59 ... 68.
 15. Golberg B.L., Ivanov A.A., Mamontov O.V. Modification of textile materials by applying nanocoatings by magnetron ion-plasma sputtering // *Russian Chemical Journal.* – 2011. V. 55. No. 3. S. 7...13.16. *Entsiklopediya nizkotemperaturnoy plazmy (pod red. Yu.A.Lebedeva, N.A.Plate, V.E.Fortova).* – M.: Yanus-K, 2006.
 16. *Encyclopedia of low-temperature plasma* (Edited by Yu.A. Lebedev, N.A. Plate, V.E. Fortov). – M.: Janus-K, 2006.
 17. Polak L.S. Kinetics and thermodynamics of chemical reactions in low-temperature plasma. – M.: Nauka, 1965.
 18. Osuda N. Plasma polymerization and plasma processing of polymers // *High-molecular compounds.* - 1988. V. 80A, No. 9. S. 1815 ... 1831.
 19. Blinicheva I.B., Melnikov B.N., Maksimov A.I. Application of low-temperature plasma. - M.: Review of TsNIITEILP, 1985.
 20. Sadova S.F., Zhuravleva S.M. Prospects for processing woolen fabrics with low-temperature plasma // *Director (Legprombytizdat).* - 2000, No. 8. pp. 10...11.
 21. Abdulin I.Sh. High-frequency plasma processing in dynamic vacuum of capillary-porous structures: theory, practice, application. - Kazan, 2004.
 22. Krichevsky G.E. Nanotechnologies in the production of "smart" textile materials and products from them // *Textile chemistry.* -2004, No. 3. S. 33...38.
 23. Zhukovsky V.A. Polymer endoprostheses for hernioplasty. - St. Petersburg: Aesculapius, 2011.
 24. Sinenchenko G.I., Zhukovsky V.A., Gaivoronsky I.V. Postoperative hernias of the anterior abdominal wall and their surgical treatment. - St. Petersburg: Elbi, 2009.
 25. Slutskennr G.Ya., Zhukovsky V.A., Terushkina O.B. Elastic characteristics of polypropylene and polyvinylidene fluoride monofilaments and mesh prostheses based on them // *Chemical fibers.* - 2012, No. 5. S. 28 ... 32.
 26. Zhukovsky V.A., Khokhlova V.A., Anushchenko T.Yu. et al. Polyglycoside antimicrobial surgical sutures // *Design. Materials. Technology.* - 2012, No. 5 (25). pp. 107...110.
 27. Zhukovsky V.A. Polymeric endoprostheses for hernioplasty: obtaining, properties and possibilities of improvement. *Vestnik khirurgii im. Grekov.* – 2011. V. 170, No. 2. S. 82...87
 28. Oltarzhevskaya N.D., Korovina M.A. Textiles for medicine: new medical composite materials // *Textile industry.* – 2010, No. 5. S. 58...62
 29. Oltarzhevskaya N. D., Shvets V. I., Korovina M. A. et al. Choice of the composition of the biopolymer therapeutic depocomposition for use in various fields of medicine // *Biotechnology.* - 2016. V. 32, No. 1. pp. 43...52.
 30. Oltarzhevskaya N.D., Krichevsky G.E., Korovina M.A., Gusev I.V. Biopolymers in medicine. Successes, problems, future // *Biopharmaceutical journal.* – 2017. V. 9, No. 2. S. 3...25.
 31. Khlystova T. S., Kolaeva A. V., Valueva M. I., Gusev I. V. Natural polymers for creating wound coverings // *Raw materials and packaging.* - 2014. V.153, No. 1. S. 30...31.
 32. Chattopadhyay S., Raines R.T. Collagen-Based Biomaterials for Wound Healing // *Biopolymers.* – 2014, vol. 101. Issue 8. P. 821...833. DOI: 10.1002/bip.22486
 33. Kolaeva A.V., Gusev I.V., Lipatova I.M., Oltarzhevskaya N.D. Features of the creation of sterile materials "Kolegel" and "Kolegel-disk" for targeted drug delivery // *Russian Journal of Biotherapy.* – 2016. V. 15, No. 1. S. 49...53.
 34. Muller T. Biomimetics // *National Geographic.* - 2008, No. 5. P. 112...135
 35. Krichesky G.E. Nanobristle foot // *Chemistry and life.* - 2009, No. 10. S. 26 ... 28.
 36. Hoeshin L, Bruce R, Messerschmidt P.B. // *Nature.* – 2007. V. 448. P. 338...341.

37. Hill G.C., Soto D.R., Piatie A.M., Full R.G., Kenny T.W. //J. of Royal Society Interface. – 2011, No. 2. P. 446...457.

38. Christopher T., Dobson M. //Nature. - 2003, No. 18 (25).

39. Hardy J.G., Roemer L.M. Schiebel T.R. // Polymer. – 2008. V. 49 (20). P. 4309...4327.

40. Debabov V.G., Bogut V.G. Natural fibers for the future //Nature. - 1999, No. 2. P.36 ... 46.

41. Moryganov A.P., Galashina V.N., Dymnikova N.S. Development of high-tech biologically active products for technical and medical purposes based on flax and flax nanocomposites // Design. Materials. Technology. – 2009, No. 4(11) S. 84...90.

42. Kiselev A.M., Dashchenko N.V., Demidov A.V. The use of nanoscale systems for the modification and

improvement of the quality of textile materials. - St. Petersburg: SPGUTD, 2013.

43. Dashchenko N.V., Kiselev A.M. // Izv. universities. Technology of the textile industry. - 2008, No. 2. S. 64 ... 66.

44. Kiselev A.M., Dashchenko N.V., Demidov A.V., Shim V.V. Evaluation of the effect of mechanical dispersion of nanosized interference pigments // Vestnik SPGUTD, ser. 1. - 2018, No. 2. P.45...51.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 07.02.22.
