



## МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Г. Е. Кричевский<sup>1</sup>, О. И. Одинцова<sup>2</sup>, С. В. Королёв<sup>3</sup>

Герман Евсеевич Кричевский, д-р техн. наук, проф., Ольга Ивановна Одинцова, д-р техн. наук, проф., Сергей Васильевич Королёв, канд. техн. наук

<sup>1</sup>ООО «НПО Текстильпрогресс Инженерной академии наук», Москва, Россия, [gek20003@gmail.com](mailto:gek20003@gmail.com)

<sup>2</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия, [odolga@yandex.ru](mailto:odolga@yandex.ru),

<sup>3</sup>ООО «Объединение «Специальный текстиль», Шуя, Россия, [smart-textile@mail.ru](mailto:smart-textile@mail.ru)

### Ключевые слова:

наночастицы, наночастицы серебра, микрокапсулы, полиэлектролиты, функциональные вещества, акарицидно-репеллентные вещества, ароматические вещества

**Аннотация.** В современной мировой экономике нанотехнологии играют важную роль, «работая», как правило, совместно с другими конвергентными (нан-, био-, инфо-, когнитивными) технологиями. Связь эта приводит к эффекту синергии, то есть к нелинейному развитию инноваций. Впечатляет динамика роста произведённой мировой продукции по нанотехнологиям. Мировой рынок нанотехнологий в 2021 году составил 85 млрд долларов, в 2024 году (план) составит 140 млрд долларов. Прогноз на 2030 год – 288 млрд долларов. Особое место в нанотехнологиях занимает производство наночастиц различной природы и их использование в разных отраслях индустрии, областях науки и техники. Как сама нанотехнология, так и производство, и применение наночастиц являются междисциплинарными и межотраслевыми. Их пользователями, заказчиками являются развитые отрасли индустрии, в том числе текстильная промышленность. Применяют наночастицы металлов, как в форме коллоидных растворов, так и в составе микрокапсул, содержащих в ядре функциональные вещества различной природы. Рассмотрены некоторые методы получения наночастиц металлов и синтеза микрокапсул. Приведены технологии применения микрокапсул для функционализации текстиля.

### Для цитирования:

Кричевский Г.Е., Одинцова О.И., Королёв С.В. Модификация свойств волокнистых материалов с использованием нанотехнологий // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2023. Т. 4, вып. 4. С. 36-51. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2023-4-4>

С первых же лет появления нанотехнологий (начало XXI века) в реальной экономике одним из главных объектов её практического приложения стала мировая текстильная промышленность. Ниже приведём очень яркую статистику мирового производства нанотекстиля (широкое понятие – текстиль, произведённый с использованием нанотехнологий) в долларах США. Как можно видеть из приведённых цифр, использование нанотехнологий в производстве текстиля во всех его формах растёт





- производство волокон специального назначения с помощью нанотехнологий и наночастиц;
- использование нанотехнологий и наночастиц для придания текстилю специальных свойств;
- разработка нано- и микроконтейнеров для функционализации текстильных материалов.

### **Производство наночастиц и их использование для придания текстилю специальных свойств**

По стоимости мировое производство наночастиц разного вида составило в 2021 г. 2,4 млрд долларов, план на 2030 г. – 6,4 млрд долларов. Наночастицы – это наноразмерные объекты (1–100 нм), обладающие комплексом ценных свойств, которые определяются их размерами и формой. Наночастицы по своим физическим, химическим, физико-химическим, биологическим свойствам отличаются от материалов того же химического строения в микро- и макроформах.

Новые свойства наночастиц связаны с их малыми размерами, что приводит к очень большой поверхности наноматериала, его механической прочности, способности наночастиц преодолевать физиологические барьеры, проявлять уникальные биоцидные, оптико-колористические, электрические, магнитные, квантовые, каталитические свойства. Все свойства наночастиц, которыми они обладают, они эстафетно, в большей или меньшей степени, передают субстратам, в которые они объёмно или поверхностно включены [2].

### **Методы производства наночастиц**

В природе возникают и рукотворно создаются наночастицы по двум схемам:

- «сверху-вниз» путём дробления массивного материала различными физическими методами (вакуум, лазер, возгонка и др.);
- «снизу-вверх» путём ассоциации атомов или молекул в ассоциаты наноразмерного масштаба.

Вторая схема характерна для образования различных наноструктур в природе и близка к явлениям коллоидной химии. Она часто реализуется и рукотворно по природоподобным нанотехнологиям [5].

### **Производство и использование в производстве текстиля наночастиц благородных и тяжёлых металлов**

Среди всех видов наночастиц особое место занимают наночастицы благородных (Ag, Au, Pt) и тяжёлых металлов (Fe, Cu, Zn, Ti и др.).

Наночастицы этих металлов дополнительно ко всем положительным свойствам всех наночастиц проявляют очень высокие биоцидные (антимикробные, противовирусные) свойства широкого спектра действия и проявляют квантовые эффекты – приобретают окраску в широком диапазоне спектра в зависимости от размера и формы частиц.



Наночастицы благородных и тяжёлых металлов так же, как и наночастицы других видов, можно производить химическими, физическими дорогостоящими и сложными методами, а также «зелеными» – экологически чистыми способами (рис. 1).



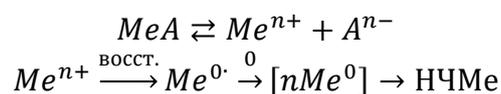
Рис. 1. Классификация способов синтеза наночастиц металлов [6]

Наночастицы серебра можно получить посредством восстановления из водных растворов нитрата серебра под действием таких восстановителей, как оксалат натрия, двуокись тиомочевины, дитионит натрия, диальдегид щавелевой кислоты (глиоксаль) или природные соединения - глюкоза, аскорбиновая кислота, танины [7].

Стабилизировать коллоидные растворы наносеребра предлагают растворами полиэлектролитов [8]: полидиаллилдиметиламмоний хлорида, полигуанидина, акриловых сополимеров, альгината натрия и других. Минимальный размер синтезированных частиц серебра характерен для систем глиоксаль-полигуанидин и составляет 2–4 нм. Антибактериальные свойства текстильных материалов, обработанных такими гидрозолями серебра, определенные по методу дисков, характеризуют зоной задержки роста бактерий, которая составляет 14–19 мм по отношению к *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, 3–7 мм по отношению к *Candida albicans* [9]. Предложенные составы предназначены для обработки медицинского белья, а также защитных масок.

Для создания перевязочных средств использован оригинальный, экологичный, природоподобный биосинтез с помощью биополимеров – полисахаридов [10].

Полисахариды в силу своего химического строения (наличие в большом количестве функциональных гидроксильных, полуацетальных групп) способны восстанавливать катионы солей металлов (прекурсоры) до нуль-валентного атомарного состояния, которые далее ассоциируют до наноразмерных образований наночастиц металлов:





Биополимер (полисахарид) в форме гидрогеля выполняет одновременно три функции:

1. Биореактор – платформа, в которой происходит реакция восстановления катионов металлов до атомарного нейтрального состояния, ассоциация атомов до наноразмерных образований (наночастицы металлов).

2. Биовосстановитель, обладающий функциональными группами, способными к redox реакциям. Восстанавливают катионы до нейтральных атомов, сами окисляясь.

3. Коллоидные стабилизаторы образовавшейся нанодисперсии.

В качестве биовосстановителей катионов металлов могут выступать и полисахариды, и белки природных волокон. В этом случае формируются наночастицы металлов непосредственно на текстиле из природных целлюлозных и белковых волокон.

Полученные биосинтезом наночастицы металлов могут быть использованы для производства медицинского и антимикробного текстиля и в других областях науки и техники: в очистке воды и воздуха, в органическом катализе, в сельском хозяйстве, в упаковочных материалах нового поколения, в современной оптике.

**Использование нанотехнологий и наночастиц в производстве нового поколения волокон со специальными свойствами [11].**

#### *Производство волокон наноразмерных по диаметру.*

В основу этой технологии положен принцип диспергирования (расщепления) струи вязкого раствора или расплава волокнообразующего полимера под давлением, проходящего через постоянное электрическое поле. Образующиеся струйки полимера формируются в нановолокна. Принципиально таким методом, который называется электроспиннингом (электроформование), можно производить нановолокна из всех волокнообразующих природных [12] и синтетических полимеров [13]. Главные перевести эти полимеры в вязкий раствор или расплав.

Ряд фирм выпускает оборудование, на котором можно производить нановолокна различной химической природы [14].

Нановолокна используются в качестве платформы в восстановительной медицине в форме нетканых материалов, в ранозаживляющих аппликациях [15, 16], в производстве фильтрационных (жидкость, газ) материалов [17]. Особую эффективность такие материалы демонстрируют при очистке жидкости и воздуха от патогенных вредных микроорганизмов и вирусов.

**Наполнение при производстве химических волокон наночастицами с целью придания им специальных свойств [18].**

Если вводить наночастицы различной природы и с различными свойствами в вязкие растворы или расплавы перед стадией их прохождения через фильеры прядильных машин, то наночастицы «эстафетно» передадут свои свойства нанонаполненному волокну. Сформируется композитное волокно с основным веществом волокнообразующего полимера и наполнителя – наночастицами. Это объёмное распределение наночастиц в волокне.



Таким образом, волокнам можно придавать повышенную прочность, биоцидность [19], магнитные, электрические, фотоактивные, супергидрофобные [20], огнезащитные [21, 22] и другие свойства. В этой технологии производства волокон возникают проблемы с прохождением композиции через фильеры прядильной машины.

Можно реализовывать обработку наночастиц на более поздней стадии производства химических волокон, а именно на стадии замасливания, вводя в состав замасливателя наночастицы. В этом случае наночастицы будут откладываться на поверхности волокон и потребуются обеспечить их высокую адгезию к волокну для перманентности эффекта.

### **Использование нанотехнологий и наночастиц непосредственно в отделочном производстве с целью придания текстилю специальных свойств.**

Нанотехнологии и наночастицы широко используются в производстве текстиля непосредственно на отделочных фабриках. Это происходит преимущественно на стадии заключительной отделки (аппретирование).

Основные свойства, которые придают текстилю с помощью нанотехнологий и наночастиц в заключительной отделке: антимикробные, защита от УФ, огнезащитность, водоотталкивание, грязеотталкивание, самоочищающие, лечебные свойства.

Антимикробная отделка придаётся главным образом с помощью наночастиц серебра и меди по разным нанотехнологиям (наносят готовые наночастицы на текстиль и фиксируют, синтезируют наночастицы непосредственно на текстиле).

– Защита от УФ разрушения с помощью наночастиц двуокиси титана и оксида цинка, обладающих высокой фотоактивностью [23].

– Придание мягкости текстилю с помощью наноэмульсий [24].

– Водоотталкивающие и маслоотталкивающие свойства с помощью наногидрофобизаторов и наномаслофобизаторов [25].

### **Микрокапсулирование функциональных веществ для отделки текстильных материалов.**

Создание нано- и микроконтейнеров для капсулирования функциональных веществ – значимая тенденция развития наукоемких нанотехнологий. Микроинкапсуляция – это процесс заключения функционального вещества в оболочку, которая защищает его от испарения, загрязнения и влияния других воздействий окружающей среды, позволяя веществу высвобождаться пролонгированным образом [26, 27]. Выделяют отдельным разделом микрокапсулирование текстильных вспомогательных веществ.

Существуют различные методы микрокапсулирования [28-33]. Для формирования микрокапсул используют физические [34, 35], химические [36-39] и физико-химические способы [40, 41].

Примером физических методов, применяемых для микрокапсулирования эфирных масел, является распылительная сушка [42]. Для формирования архитектуры



оболочки капсулы используют камедь акации, хитозан и др. [43]. Распространенным методом капсулирования гидрофобных препаратов в водонерастворимые полимеры является метод эмульгирования и удаления растворителя [44-48].

К физико-химическим способам можно отнести простую [49-50] и сложную коацервацию [51, 52], а также метод молекулярного включения [53]. В этих способах оболочкоформирующими полимерами являются крахмал, хитозан, камедь акации, желатин и гуммиарабик. Материал ядра – масла и красители. Для молекулярного включения применяют чаще всего  $\beta$ -циклодекстрин.

Химические методы получения микрокапсул состоят в синтезе архитектуры оболочки капсулы вокруг ядра в результате полимеризации или поликонденсации оболочкоформирующих веществ.

Одним из первых предложенных химических методов синтеза микрокапсул является процесс полимеризации *in situ*, который до сегодняшнего дня не потерял свою актуальность [54]. Он включает такие процессы, как эмульсионная, суспензионная, осажденная или дисперсионная полимеризация и межфазная поликонденсация [39]. В этом случае прямая полимеризация происходит на поверхности твердой частицы или капли, то есть протекает на границе раздела жидкость-жидкость, твердое тело-жидкость, жидкость-газ или твердое тело-газ с формированием архитектуры оболочки капсулы.

Полимеризация *in situ* происходит в эмульсиях типа «масло в воде», что позволяет образовывать микрокапсулы с гидрофобным ядром, несмешивающимся с водой. В результате получают сферические, резервуарообразные микрокапсулы с гладкими, прозрачными, прочными и чувствительными к давлению оболочками. Данный метод является наиболее простым. Образование эмульсий может быть ускорено различными физическими воздействиями, например, действием ультразвука [55].

В 1959 году впервые был открыт метод межфазной полимеризации в качестве альтернативы высокотемпературной методике полимеризации в расплаве при низком давлении. При микрокапсулировании методом межфазной полимеризации один из мономеров растворяется в водной фазе, а другой – в органическом липофильном растворителе. Оба мономера реагируют на границе раздела капель с образованием полимерной мембраны – оболочки микрокапсулы. Материал ядра может быть гидрофобным или гидрофильным. Для синтеза оболочки таким методом применяют четыре основных типа полимеров: полиамиды (реакция диаминов и хлоридов двухосновных кислот), полиуретаны (реакция диизоцианатов с диолами), полимочевины (реакция диаминов с диизоцианатами) и полиэферы (реакция между хлоридами двухосновных кислот и диолами). Формирование архитектуры полимерной оболочки на границе раздела включает сложные механизмы, которые еще не до конца изучены.

Основные методы межфазной полимеризации включают работу со следующими системами: жидкость-твердое тело, жидкость-жидкость или жидкость-в-жидкость (эмульсии), мономеры могут содержать как одну, так и обе жидкие фазы. Технология имеет такой важный недостаток, как неравновесность процесса, что усложняет управление и влияет на ход протекания реакции.



К химическим методам также относится синтез полиэлектролитных нанокapsул: метод «Layer-by-layer» – электростатическая самосборка, который был предложен учеными Института Макса Планка в 1998 году [56]. Впервые метод «Layer-by-layer» (LbL) использован для формирования монослойных ультратонких полимерных пленок на макроскопической подложке. В 1966 году авторами работы [57] было предложено применять для сборки пленок поочередную адсорбцию. В 1991 году Decher с соавторами рассмотрели метод получения полиэлектролитных пленок, заключающийся на поочередной адсорбции поликатионов и полианионов на подложке [58].

В 1998 году технология была успешно перенесена на поверхностную наноинженерию ядерных частиц микронных и субмикронных размеров путем попеременного воздействия полиэлектролитов, имеющих противоположенные заряды [59]. Несмотря на то, что основной движущей силой LbL осаждения являются электростатические взаимодействия, синтезируются полиэлектролитные капсулы также на основе ковалентных [60-61], дисперсионных [62], гость-хозяин взаимодействий [63], которые проявляют уникальные свойства.

Полиэлектролитные оболочки можно формировать как на коллоидных частицах, так и на темплатах. Это могут быть неорганические или органические частицы размером от 20 нм до десятков микрон, микро- и нанокристаллы лекарства или красителя, уплотненная ДНК, белковые агрегаты и биологические клетки [64]. В качестве темплатов используют карбонаты кальция [65] и марганца, фосфат кальция [66], частицы оксида кремния [67], микрочастицы полимеров, например, на основе меламинаформальдегидной смолы [68].

На темплатах формируется оболочка капсулы различной архитектуры, которая обусловлена свойствами противоположно заряженных полиэлектролитов, условиями формирования и количеством слоев. Варьируя условия синтеза оболочки: pH, ионную силу и природу полиэлектролитов, их концентрацию, плотность заряда цепи полимера и молекулярный вес, можно синтезировать оболочки с разной толщиной и морфологией. В процессах капсулирования применяют природные (полисахариды, хитозан, камеди) и синтетические полиэлектролиты (полидиметилдиаллиламмоний хлорид, полиакриловая кислота, полистиролсульфонат, полиаллиламин и др.). Их выбор зависит прежде всего от назначения капсулируемого вещества. Для медицинских целей применяют природные биосовместимые полимеры [69], для технических – синтетические [70].

После того, как оболочка полностью сформирована, темплат удаляют чаще всего посредством растворения веществами, природа которых определяется химическими свойствами частицы. При использовании разлагаемых темплатов ядра могут быть удалены не только путем растворения, но и посредством разложения при помощи подходящих физико-химических средств, изменения pH, термической обработки. Слабо сшитые частицы меламинаформальдегида (МФ) первоначально использовали наиболее интенсивно в качестве матриц для изготовления полых полиэлектролитных капсул. Однако они растворяются при низком pH или в смешивающихся с водой органических растворителях, например, таких как диметилсульфоксид. Неполное удаление МФ олигомеров, образующихся во время растворения, и их биологическая



опасность сильно ограничили применимость этих ядер [71] Биоразлагаемые полимерные микрочастицы, например, сополимеры полимолочной кислоты, легко преодолевают недостатки МФ, но создают другие ограничения, такие как полидисперсность и склонность к агрегации [72]. Традиционные неорганические ядра, такие как оксиды кремния, можно полностью растворить, но для этого используют опасную плавиковую кислоту [73].

Показано, что даже биологические клетки, например, красные кровяные тельца в качестве матриц для сборки LbL, не очень подходят, так как удаление ядра происходит при использовании сильных окислителей [74]. Каждый из этих рассмотренных темплатов имеет свои ограничения по применению и не очень подходит для технологии LbL.

Наиболее экологичен карбонат кальция, который считается безопасным материалом для введения в биологическую систему. Доказано, что он полностью удаляется без каких-либо остаточных элементов в полиэлектролитных капсулах [73].

При использовании частиц  $\text{CaCO}_3$  в качестве разлагаемых темплатов для сборки многослойных полиэлектролитов с помощью метода LbL, последующее удаление темплата происходит под действием уксусной кислоты или хелатирующего агента, что приводит к полному удалению карбоната кальция из ядра [75].

Для растворения карбоната кальция чаще используют этилендиаминтетрауксусную кислоту (ЭДТА) [76]. Освобождающийся объем заполняют функциональным веществом. Такая методика капсулирования подходит для водорастворимых функциональных веществ – белков, биологически активных соединений и лекарственных препаратов [77].

В процессе формирования капсул на коллоидных частицах в качестве функциональных веществ применяют ароматные эфирные масла [78], жирорастворимые витамины [79] и лекарственные вещества [80] и репелленты [81].

Авторы работы [82] приводят следующую классификацию применения микрокапсул для функционализации текстильных материалов и изделий (рис. 2). Возможности применения микрокапсулированных текстильных вспомогательных веществ достаточно широки: от материалов, характеризующихся одной простой функцией, до придания тканям полифункциональных свойств.

Природно-очаговые инфекции, передающиеся иксодовыми клещами (клещевые трансмиссивные инфекции – КТИ), являются серьезной проблемой здравоохранения в связи с широким распространением на территории России и в мире, массовостью заболеваний, этиологическим многообразием, высокой частотой микстформ, тяжестью течения и исходов, увеличением числа антропоургических очагов в пригородах и на территории городов. В силу ряда причин, способы популяционной или индивидуальной защиты, предохраняющие человека от контакта с переносчиками, и, следовательно, от любой передающейся ими инфекции, применяют недостаточно широко [83-85].

Предупредить опасное заболевание можно путем использования нескольких профилактических мероприятий: проведение противоклещевых обработок опасных участков на эндемичных территориях, вакцинация населения против клещевого вирусного энцефалита (КВЭ), проведение экстренной иммунопрофилактики лицам, пострадавшим от присасывания клещей, применение средств защиты от клещей [86].

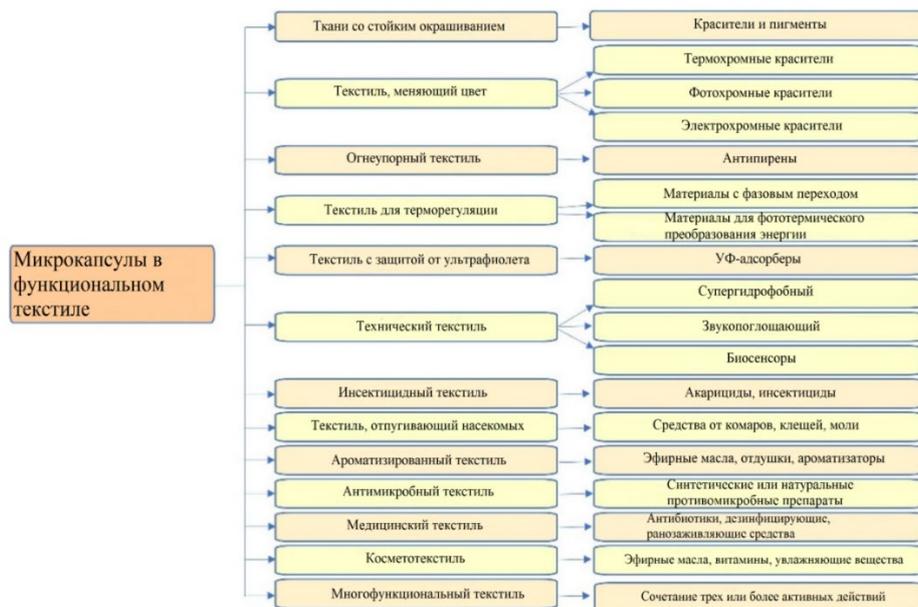


Рис. 2. Применение микрокапсул для функционализации текстиля [82]

Разработана технология капсулирования акарицидно-репеллентных препаратов. В ядро капсулы включен альфациперметрин, растворенный в нетоксичном масляном растворителе. Архитектура оболочки капсулы выполнена из полидиметилдиаллиламмоний хлорида и акрилового сополимера акриловой, метакриловой и малеиновой кислот и их солей. Получена устойчивая дисперсия микрокапсулированного акарицидно-репеллентного препарата с размером частиц от 30 до 300 нм в зависимости от количества слоев в составе оболочки [87]. Обработанные таким препаратом костюмы («Барьер-Инсекто У») испытаны в условиях природного очага вирусного клещевого энцефалита в природных биотопах Иркутской области и Ханты-Мансийского автономного округа. Они обеспечивают высокую защиту от клещей-переносчиков (коэффициент защитного действия (КЗД) от клещей = 98,2%) [88, 89].

Для ароматизации текстильных материалов применяют микрокапсулы с включением в ядро эфирных масел или ароматизаторов иной природы. Такие микрокапсулированные препараты способны постепенно высвобождать активные ингредиенты через проницаемые оболочки [90]. В случае, если оболочка сформирована методом межфазной полимеризации, выделение душистого вещества происходит в результате механического воздействия, например, при трении в процессе носки изделия. Важную роль для создания перманентной ароматной отделки играет метод иммобилизации наполненных капсул на текстильном материале [91-93].

Большая часть ароматических веществ обладает несколькими полезными свойствами, включая лечебные, фармацевтические и антимикробные [94]. Ароматы цитруса, лаванды, розы или ванили, инкапсулированные в ткань, приводят к хорошему самочувствию и имеют важное психологическое и эмоциональное значение для человека, а высокий седативный эффект оказывает масло мяты и лимона, лаванда и розмарин способствуют выздоровлению человека от гриппа. Применение натуральных капсулированных масел, иммобилизованных на текстильный материал, полезно для здоровья человека и характеризуется минимальным отрицательным действием [95]. Ароматерапевтический вид отделки предложен для постельного белья, спортивной



одежды, носок, женских текстильных аксессуаров. Среди альтернативных подходов к лечению заболеваний ароматерапия является наиболее известным и широко используемым методом [96].

Особый интерес представляют текстильные материалы, содержащие вещества с изменяемым фазовым состоянием, способные проявлять терморегулирующие свойства в определенном диапазоне температур. Один из наиболее актуальных способов придания текстилю терморегулирующих свойств – нанесение специальных покрытий на поверхность волокон или изделий, в основе которых лежит применение состава, содержащего микрокапсулы, включающие вещества, которые обладают способностью к фазовому переходу [97].

К ним относят парафиновые воски и углеводороды с линейной цепочкой, которые обладают способностью аккумулировать тепло и способны к фазовому переходу при температурах, близких к температуре человеческого тела. Кроме того, некоторые органические масла природного происхождения, а также жирные кислоты являются не только веществами, способными к сохранению и выделению тепла в определенных условиях, но и обладают множеством других полезных свойств. Эти преимущества делают их эффективными для получения микрокапсул на их основе и применения для придания текстильным материалам терморегулирующих свойств [98, 99].

Предложено для капсулирования использовать кокосовое масло, которое обладает способностью к фазовому переходу. Данное вещество является доступным и недорогим, безопасным для кожных покровов, безвредным для окружающей среды, что делает его выгодным для внедрения в ядро микрокапсулы [100, 101].

Для получения текстильных материалов с долгосрочным терморегулирующим эффектом, устойчивым к стиркам и другим химико-физическим воздействиям, важным моментом в процессе микрокапсулирования является правильный выбор оболочкоформирующих компонентов. Следует подобрать вещества, которые обеспечат высокую прочность оболочки, чтобы предотвратить преждевременный выход активного вещества из капсулы на текстильный материал, который может привести к снижению технических результатов отделки. Предложено применение мочевины и низкоформальдегидных предконденсатов терморезактивных смол (Отексид Д-2, Отексид НФ), выступающих также в качестве стабилизаторов микрокапсул. Подобраны кислые катализаторы, обеспечивающие более полное протекание реакции формирования оболочки (уксусная кислота, хлорид магния 6-водный). Опробованы вспомогательные стабилизаторы для получаемых микрокапсул: ПВС и салициловая кислота, которые наиболее широко известны в производстве препаратов медицинского назначения. Для эмульгирования кокосового масла использован Твин 80, применяющийся в биомедицинских разработках и косметологии [102, 103].

Существует несколько методов нанесения микрокапсул на текстильные материалы. Одним из наиболее распространенных способов является внедрение капсул в волокно в процессе электропрядения. Более доступны в отделочном производстве два способа иммобилизации микрокапсул на текстильный материал: посредством пропитки в получаемых дисперсиях или методом печати. Эффективны составы пропиточной и печатной композиций с включением микрокапсул на основе акрилового загустителя и связующего Рузина-14И [104, 105]. Данные способы нанесения просты в осуществлении и являются экономически выгодными.



## Заключение

Нанотехнологии и наночастицы, а также нано- и микрокапсулы широко используются в мировой практике производства волокон, текстиля и изделий из них специального назначения. Принципы нанотехнологий позволяют производить текстиль и изделия из него со специальными свойствами для разных областей использования: домашний текстиль, одежда, армейское обмундирование, медицинский текстиль, спортивный текстиль, технический текстиль и др.

## Список источников

1. **Tanveer H.** Nanotechnology applications in textiles // *World textile & clothing trade*. 2018. Vol. 1. P. 1-3.
2. **Кричевский Г.Е.** Основы нанотехнологий. М.: Грин Принт, 2022. 720 с.
3. **Кричевский Г.Е.** Нано-, био-, химические технологии и производство нового поколения волокон, текстиля и одежды. М.: Известия, 2011. 528 с.
4. **Кричевский Г.Е.** НБИКС-технологии для Мира и Войны. М.: Ламберт, 2017. 634 с.
5. **Pham V.P.** XXI Century Nanostructured Materials // *Physics, Chemistry, Classification, and Emerging Applications in Industry, Biomedicine, and Agriculture*. 2022. 388 p. DOI: 10.5772/intechopen.94802. URL: <https://directory.doabooks.org/handle/20.500.12854/90255>
6. **Schröfel A., Kratoshova G., Prokop A.** Biosynthesis of metal nanoparticles and their application in intracellular delivery. Fundamental biomedical technologies // *Journal of Nanotechnology*. The Netherlands: Dordrecht, 2014. P. 373–409. DOI: 10.1007/978-94-007-1248-5\_14.
7. **Дмитриева А. Д., Кузьменко В.А., Одинцова (Петрова) Л.С., Одинцова О.И.** Синтез и использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // *Российский химический журнал*. 2015. № 2. С. 58.
8. **Петрова Л.С., Липина 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.
9. **Одинцова О.И., Антонова А.С., Козлова О.В.** Применение наночастиц серебра для модификации свойств текстильных материалов // *Вестник технологического университета Таджикистана*. 2019. № 37. С. 19-22.
10. **Кричевский Г.Е.** Зеленые и природоподобные технологии - основа устойчивого развития для будущих поколений. М.: Грин Принт, 2019. 416 с.
11. **Кричевский Г.Е.** Нановолокна // *Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал*. – URL: <https://bigenc.ru/c/nanovolokna-6dde58/?v=8309628> (дата публикации: 05.09.2023).
12. **Venugopal J, Ramakrishna S.** Applications of polymer nanofibers in biomedicine and biotechnology // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2005. Vol. 125, no. 3. P. 147-157. DOI: 10.1385/ABAB:125:3:147.
13. **Huang Z., Zhang Y., Kotaki M., Ramakrishna S.** A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites // *Composites Science and Technology*. 2003. Vol. 63, no. 15. P. 2223-2253. DOI: 10.1016/S0266-3538(03)00178-7.
14. **Pham P.V.** XXI Century Nanostructured Materials - Physics, Chemistry, Classification, and Emerging Applications in Industry, Biomedicine, and Agriculture. Publisher: IntechOpen, 2022. P. 388. DOI: 10.5772/intechopen.94802.
15. **Zeng J., Xu X., Chen X., Liang Q., Bian X., Yang L., Jing X.** Biodegradable electrospun fibers for drug delivery // *Control Release*. 2003. Vol. 92, no. 3. P. 227-231. DOI: 10.1016/S0168-3659(03)00372-9.
16. **Yu H., Jiao Z., Hu H., Lu G., Ye J., Bi Y.** Fabrication of Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-PAN composite nanofibers for photocatalytic applications // *Crystengcomm*. 2013. Vol. 15, no. 7. P. 4802-4805. DOI: 10.1039/c3ce00073g.
17. **Botes M., Cloete T.E.** The potential of nanofibers and nanobiocides in water purification // *Critical Reviews in Microbiology*. 2010. Vol. 36, no. 1. P. 68-81. DOI: 10.3109/10408410903397332.
18. **Rivero P.J., Urrutia A., Goicoechea J., Arregui F.J.** Nanomaterials for Functional Textiles and Fibers // *Nanoscale Research Letters*. 2015. Vol. 10, no. 1. P. 501. DOI: 10.1186/s11671-015-1195-6.
19. **Gerber L.C., Mohn D., Fortunato G., Astasov-Frauenhoffer M., Imfeld T., Waltimo T., Zehnder M., Stark W.J.** Incorporation of reactive silver-tricalcium phosphate nanoparticles into polyamide 6 allows



- preparation of self-disinfecting fibers // *Polymer Engineering and Science*. 2011. Vol. 51, no. 1. P. 71–77. DOI: 10.1002/pen.21779.
20. **Gao Q., Zhu Q., Guo Y., Yang C.Q.** Formation of highly hydrophobic surfaces on cotton and polyester fabrics using silica sol nanoparticles and nonfluorinated alkylsilane // *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2009. Vol. 48, no. 22. P. 9797–9803. DOI: 10.1021/ie9005518.
  21. **El-Hady M.M.A., Farouk A., Sharaf S.** Flame retardancy and UV protection of cotton based, fabrics using nano ZnO and polycarboxylic acids // *Carbohydrate Polymers*. 2012. Vol. 92, no. 1. P. 400–406. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.08.085.
  22. **Apaydin K., Laachachi A., Ball V., Jimenez M., Bourbigot S., Ruch D.** Layer-by-layer deposition of a TiO<sub>2</sub>-filled intumescent coating and its effect on the flame retardancy of polyamide and polyester fabrics // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2021. Vol. 469. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2014.12.021.
  23. **Ерзунов, К.А., Одинцова О.И., Трегубов А.В., Ильичева М.Д., Липина А.А.** Получение наноразмерных цинксодержащих полифункциональных покрытий на текстильных материалах // *Известия вузов. Химия и хим. технология*. 2023. № 9. С. 89–95.
  24. **Venkatraman P.D., Sayed U., Parte S., Korgaonkar S.** Development of Advanced Textile Finishes Using Nano-Emulsions from Herbal Extracts for Organic Cotton Fabrics // *Coatings*. 2021. Vol. 11, no. 8. P. 939. DOI: 10.3390/coatings11080939
  25. **Camlibel N.O., Mete G., Aksit A., Kutlu B., Çelik E.** Water- and Oil-Repellency Properties of Cotton Fabric Treated with Silane, Zr, Ti based Nanosols // *International Journal of Textile Science*. Vol. 4, no. 4. P. 84–96. DOI: 10.5923/j.textile.20150404.03
  26. **Кролевец А.А., Тырсин Ю.А., Быковская Е.Е.** Применение нано- и микрокапсулирования в фармацевтике и пищевой промышленности // *Вестник Российской академии естественных наук*. 2006. № 1. С. 77–84.
  27. **Ghosh S.K.** Functional Coatings by Polymer Microencapsulation // *Wiley VCH*. 2006. Vol. 1, no. 1. P. 378.
  28. **Valle J.A.B., Valle R.D.C.S.C., Bierhalz A.C.K., Bezerra F.M., Hernandez A.L., Lis Arias M.J.** Chitosan Microcapsules: Methods of The Production and Use in the Textile Finishing // *Applied Polymer Science*. 2020. Vol. 138, no. 1. P. 1. DOI: 10.1002/app.50482.
  29. **Bah M.G., Bilal H.M., Wang J.** Fabrication and Application of Complex Microcapsules: A Review // *Soft Matter*. 2020. Vol. 16, no. 3. P. 570–590. DOI: 10.1039/c9sm01634a.
  30. **Ozkan G., Franco P., De Marco I., Xiao J., Capanoglu E.** A Review of Microencapsulation Methods for food Antioxidants: Principles, Advantages, Drawbacks and Applications // *Food Chemistry*. 2018. Vol. 272, no. 1. P. 494–506. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.07.205
  31. **Suganya V., Anuradha V.** Microencapsulation and Nanoencapsulation: A Review // *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 2017. Vol. 9, no. 3. P. 233–239. DOI: 10.25258/IJPCR.V9I3.8324.
  32. **Kaushik P., Dowling K., Barrow C.J., Adhikari B.** Microencapsulation of Omega–3 Fatty Acids: A Review of Microencapsulation and Characterization Methods // *Journal of Functional Foods*. 2014. Vol. 19, no. 1. P. 868–881. DOI: 10.1016/j.jff.2014.06.029.
  33. **Jamekhorshid A., Sadrameli S.M., Farid M.** A Review of Microencapsulation Methods of Phase Change Materials (PCMs) as a Thermal Energy Storage (TES) Medium // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 31, no. 1. P. 531–542. DOI: 10.1016/j.rser.2013.12.033.
  34. **Silva P.T.** Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology // *Ciência Rural*. 2014. Vol. 44, no. 7. P. 1304–1311. DOI: 10.1590/0103-8478cr20130971
  35. **Salaün F.** Microencapsulation technology for smart textile coatings // *Active Coatings for Smart Textiles*. 2016. P. 179–220. DOI: 10.1016/B978-0-08-100263-6.00009-5.
  36. **Pate K.R., Mukesh J., Tarak Mehta J.** Microencapsulation: Review on Novel Approaches // *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2011. Vol. 3, no. 1. P. 894–911.
  37. **Suganya V., Anuradha V.** Microencapsulation and nanoencapsulation: a review // *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 2017. Vol. 9, no. 3. P. 233–239. DOI: 10.25258/ijpcr.v9i3.8324.
  38. **Gurny R., Peppas N.A., Harrington D.D., Banker G.S.** Development of biodegradable and injectable latices for controlled release of potent drugs // *Drug development and industrial pharmacy*. 2008. Vol. 7, no. 1. P. 1–25. DOI: 10.3109/03639048109055684.
  39. **Jain N.K.** Controlled and novel drug delivery. CBS: Publishers & distributors, 1997. P. 236–237.
  40. **Gibbs F., Kermasha S., Alli I., Mulligan C.N.** Encapsulation in the food industry: a review // *International journal of food sciences and nutrition*. 1999. Vol. 50, no. 3. P. 213–224. DOI: 10.1080/096374899101256.



41. **Yang L., Paulson A.T.** Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film // *Food research international*. Vol. 33, no. 7. P. 571-578. DOI: 10.1016/S0963-9969(00)00093-4.
42. **Yingngam B., Kacha W., Rungsevijitprapa W., Sudta P., Prasitpuriprecha C., Brantner A.** Response Surface Optimization of Spray-Dried Citronella Oil Microcapsules with Reduced Volatility and Irritation for Cosmetic Textile Uses // *Powder Technology*. 2019. Vol. 355. P. 372-385. DOI: 10.1016/j.powtec.2019.07.065.
43. **Yang Z., Zeng Z., Xiao Z., Ji H.** Preparation and Controllable Release of Chitosan/Vanillin Microcapsules and their Application to Cotton Fabric // *Flavour and Fragrance Journal*. 2014. Vol. 29, no. 2. P. 114-120. DOI: 10.1002/ffj.3186.
44. Patent № US6932984B1 USA. Method of microencapsulation / **Babtsov V., Shahirj Yu., Kvitnitsky E.** Publ. 2005.
45. **Jyothi N.V.N., Prasanna P.M., Sakarkar S.N., Prabha K.S., Ramaiah P.S., Srawan G.Y.** Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency // *Journal of Microencapsulation*. 2010. Vol. 27, no.3. P. 187-197. DOI: 10.3109/02652040903131301.
46. **Matijević I., Bischof S., Pušić T.** Cosmetic preparations on textiles: Cosmetotextiles // *Tekstil: časopis za tekstilnu i odjevnu tehnologiju*. 2016. Vol. 65, no. 1-2. URI: <https://hrcak.srce.hr/166358>.
47. **Abbaspoor S., Ashrafi A., Salehi M.** Synthesis and characterization of ethyl cellulose micro/nanocapsules using solvent evaporation method // *Colloid and Polymer Science*. 2018. Vol. 296, no. 3. P. 1509-1514. DOI: 10.1007/s00396-018-4371-2.
48. **Teeka P., Chaiyasat A., Chaiyasat P.** Preparation of Poly (methyl methacrylate) Microcapsule with Encapsulated Jasmine Oil // *Energy Procedia*. 2014. Vol. 56, no. 1. P. 181-186. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.07.147.
49. **Podgornik B., Starešinič M.** Microencapsulation Technology and Applications in Added-Value Functional Textiles // *Journal Physical Sciences Reviews*. 2016. Vol. 1, no. 1. P. 80-103. DOI: 10.1515/psr-2015-0003.
50. **Starešinič M., Šumiga B., Boh B.** Microencapsulation for Textile Applications and Use of SEM Image Analysis for Visualisation of Microcapsules // *Tekstilec*. 2011. Vol. 54, no. 4-6. P. 80-103. URL: <https://eposlink.com/ru/catalog/library/elibrary/book/56011/publication/150413/>
51. **Boh B., Knez E., Starešinič M.** Microcapsules in Textile Industry // *Microcapsule Patents and Products*. 2006. Vol. 6, no. 1. P. 235-269.
52. **Saraç E.G., Öner E., Kahraman M.V.** Microencapsulated Organic Coconut Oil as a Natural Phase Change Material for Thermo-Regulating Cellulosic Fabrics // *Cellulose*. 2018. Vol. 26, no. 1. P. 8939-8950.
53. **Rani S., Goel A.** Microencapsulation Technology in Textiles: A Review Study // *Pharma Innovation Journal*. 2011. Vol. 10, no. 1. P. 660-663.
54. **Gurny R., Peppas N.A., Harrington D.D., Banker G.S.** Development of biodegradable and injectable latices for controlled release of potent drugs // *Drug development and industrial pharmacy*. 1981. Vol. 7, no. 1. P. 1-25.
55. **Меньшутина Н.В.** Технологии инкапсуляции // *Фармацевтические технологии и упаковка*. 2014. Т. 1, № 5. P. 30-33.
56. **Donath E.** Novel hollow polymer shells by colloid-templated assembly of polyelectrolytes // *Angewandte Chemie International Edition*. 1998. Vol. 37, no. 16. P. 2201-2205.
57. **Sukhorukov G.B.** Layer-by-layer self assembly of polyelectrolytes on colloidal particles // *Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects*. 1998. Vol. 137, no 1-3. P. 253-266. DOI: 10.1016/S0927-7757(98)00213-1.
58. **Decher G., Hong J.D.** Build up of ultrathin multilayer films by a self-assembly process, 1 consecutive adsorption of anionic and cationic bipolar amphiphiles on charged surfaces // *Makromolekulare Chemie*. 1991. Vol. 46, no. 1. P. 321-327. DOI: 10.1002/masy.19910460145.
59. **Antipov A.A., Sukhorukov G.B., Donath E.** Sustained release properties of polyelectrolyte multilayer capsules // *The Journal of Physical Chemistry. B*. 2001. Vol. 105, no. 12. P. 2281-2284. DOI: 10.1021/jp002184+
60. **Chen J., Huang L., Ying L., Luo G., Zhao X., Cao W.** Self-assembly ultrathin films based on diazoresins // *Langmuir*. 1999. Vol. 15, no.1. P. 7208-7212. DOI: 10.1016/S0379-6779(02)00200-X.
61. **Kharlampieva E., Kozlovskaya V., Sukhishvil S.A.** Layer-by-layer hydrogen-bonded polymer films: from fundamentals to applications // *Advanced Materials*. 2009. Vol. 21, no.1. P. 3053-3065.
62. **Mauser T., Déjугnat C., G.B. Sukhorukov G.B.** Balance of hydrophobic and electrostatic forces in the pH response of weak polyelectrolyte capsules // *The Journal of Physical Chemistry B*. 2006. Vol. 110. P. 20246-20253.
63. **Ikeda A., Hatano T., Shinkai S., Akiyama T., Yamada S.** Efficient photocurrent generation in novel self-assembled multilayers comprised of fullerene- cationic homooxalix arene inclusion complex and anionic porphyrin polymer // *J. Am. Chem. Soc.* 2001. Vol. 123, no. 20. P. 4855-4856.



64. **Guzmán E.** Layer-by-Layer polyelectrolyte assemblies for encapsulation and release of active compounds // *Advances in colloid and interface science*. 2017. Vol. 249. P. 290-307.
65. **Wang W., Zhao Y., Yan B.-B., Dong L., Lu Y., Yu S.-H.** Calcium carbonate-doxorubicin silica-indocyanine green nanospheres with photo-triggered drug delivery enhance cell killing in drug-resistant breast cancer cells // *Nano Research*. 2018. Vol. 11. P. 3385–3395. DOI: 10.1007/s12274-017-1950-3.
66. **Chesneau C., Larue L., Belbekhouche S.** (2023). Design of Tailor-Made Biopolymer-Based Capsules for Biological Application by Combining Porous Particles and Polysaccharide Assembly // *Pharmaceutics*. 2023. Vol. 15, no. 6. P. 1718-1730. DOI: 10.3390/pharmaceutics15061718.
67. **Song Z., Liu Y., Shi J., Ma T., Zhang Z., Ma H., Cao S.** Hydroxyapatite/mesoporous silica coated gold nanorods with improved degradability as a multi-responsive drug delivery platform // *Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 83. P. 90–98.
68. **Geest D., Jonas A.M., Demeester J.** Glucose Responsive Polyelectrolyte Capsules // *Langmuir*. 2006. Vol. 22. P. 5070-5074
69. **Одинцова О.И., Румянцев Е.В., Смирнова А.С., Петрова Л.С., Румянцева В.Е.** Микрокапсулирование биологически активных веществ с использованием биосовместимых полиэлектролитов // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2021. Т. 391, № 1. С. 60-65. DOI: 10.47367/0021-3497\_2021\_1\_60.
70. **Кузьменко В.А., Одинцова О.И., Русанова А.И.** Свойства синтетических полиэлектролитов и перспективы их применения для отделки текстильных материалов // *Журнал прикладной химии*. 2014. Т. 87, № 9. С. 1193-1203
71. **Gao C.Y.** The decomposition process of melamine formaldehyde cores: the key step in the fabrication of ultrathin polyelectrolyte multilayer capsule // *Macromolecular Materials and Engineering*. 2001. Vol. 286, no. 6. P. 355-361
72. **Shenoy D. B.** Layer-by-layer engineering of biocompatible, decomposable core – shell structures // *Biomacromolecules*. 2003. Vol. 4, no. 2. P. 265-272.
73. **Antipov A.A.** Carbonate microparticles for hollow polyelectrolyte capsules fabrication // *Colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects*. 2003. Vol. 224, no. 1-3. P. 175-183.
74. **Moysa S.** Polyelectrolyte multilayer capsules templated on biological cells: core oxidation influences layer chemistry // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2001. Vol. 183. P. 27-40
75. **Volodkin D.V.** Matrix polyelectrolyte microcapsules: new system for macromolecule encapsulation // *Langmuir* 2004. Vol. 20, no. 8. P. 3398-3406.
76. **Xiang L.** Influence of chemical additives on the formation of super-fine calcium carbonate // *Powder Technology*. 2002. Vol. 126, no. 2. P. 129-133.
77. **Petrova L.S., Kozlova O.V., Vladimirtseva E.L., Smirnova S.V., Lipina A.A., Odintsova O.I.** Development of Multifunctional Coating of Textile Materials Using Silver Microencapsulated Compositions // *Coatings*. 2021. Vol. 1, no. 11. P. 159. DOI: 10.3390/coatings11020159.
78. **Одинцова О.И., Петрова Л.С., Козлова О.В.** Микрокапсулирование биологически активных веществ и их использование для функционализации текстильных материалов // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2018. Т. 1, № 4. P. 85-89.
79. **Albahrani A.A., Greaves R.F.** Fat-soluble vitamins: clinical indications and current challenges for chromatographic measurement // *The Clinical Biochemist Reviews*. 2016. Vol. 37, no. 1. P. 27-47.
80. **Wijekoon M.M. J.O.** Recent advances in encapsulation of fat-soluble vitamins using polysaccharides, proteins, and lipids: a review on delivery systems, formulation, and industrial applications // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. P. 124539.
81. **Одинцова О.И., Прохорова А.А., Владимирцева Е.Л., Петрова Л.С.** Использование метода микроэмульсионного капсулирования для придания текстильным материалам акарицидных свойств // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности* 2017. Т. 367, № 1. С. 332-336.
82. **Podgornik B., Šandrić S., Kert M.** Microencapsulation for Functional Textile Coatings with Emphasis on Biodegradability – A Systematic Review // *Coatings*. Vol. 11, no. 11. P. 1371. DOI: 10.3390/coatings11111371.
83. **Debboun M., Strickman D.** Insect repellents and associated personal protection for a reduction in human disease // *Medical and Veterinary Entomology*. 2013. Vol. 27, no. 1. P. 1-9.
84. **Сарксян Д.С., Малеев В.В., Платонов А.Е.** Дифференциальная диагностика иксодового клещевого боррелиоза, вызванного *Borrelia miyamotoi* // *Инфекционные болезни*. 2012. Т. 10, № 4. С. 41-44.
85. **Одинцова О.И., Липина А.А.** Перспективные препараты для акарицидно-репеллентной отделки текстильных материалов // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2022. Т. 3, № 1. С. 58-49. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2022tom3no1>



86. Утенкова Е.О., Савиных Н.А. Клещевой энцефалит в России и Европе // *Медицинский альманах*. 2021. Т. 67, № 2. Р. 13-21.
87. Липина А.А., Одинцова О.И., Антонова А.С., Носкова Ю.В. Оценка нанодисперсного состояния и агрегативной устойчивости экспериментальных образцов инкапсулированных акарицидно-репеллентных веществ // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2019. Т. 383, № 5. С. 130-135.
88. Королев С.В., Одинцова О.И., Липина А.А., Чернова Е.Н., Королев Д.С. Разработка технологии акарицидно-репеллентной отделки текстильных материалов и ее успешное внедрение в производство инновационного предприятия «Объединение «СПЕЦИАЛЬНЫЙ ТЕКСТИЛЬ» // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2019. Т. 384, № 6. С. 55-61
89. Патент № 2625432 РФ. Одежда для защиты человека от кровососущих клещей и летающих кровососущих насекомых / Королев Д.С., Королев С.В., Козлова О.В. и др. Оpubл. 2016.
90. Кузьменко В.А., Русанова А.И., Малышева К.А., Одинцова О.И. Современное состояние и перспективы развития ароматной отделки текстильных материалов // *Химия растительного сырья*. 2015. № 1. С. 15-27.
91. Mertgenç C., Enginar H., Yilmaz H. Microencapsulation of Fragrance with Polyurethane – Urea and Application on Different Fabrics // *Iran. J. Sci. Technol. Trans. A Sci*. 2021. Vol. 45. P. 1–11.
92. Wang S., Zhang W., Chen Y., Zhang S., Wang W. The Aromatic Properties of Polyurea–Encapsulated Lavender Oil Microcapsule and their Application in Cotton Fabric // *J. Nanosci. Nanotechnol*. 2019. Vol. 19. P. 4147–4153.
93. Кузьменко В.А., Русанова А.И., Малышева К.А., Одинцова О.И. Применение синтетических полиэлектролитов для иммобилизации душистых веществ на текстильных материалах методом «LAYER-BY-LAYER» // *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 2014. № 57. С. 100-102.
94. Reichling J. Essential oils of aromatic plants with antibacterial, antifungal, antiviral, and cytotoxic properties–an overview // *Complementary Medicine Research*. 2009. Vol. 16, no. 2. P. 79-90.
95. Teli M.D., Mallick A., Patil G. Healing touch of textiles: II aroma therapy. *AsianDyer* 2014. Vol. 11. No. 3 P. 45.
96. Mondal S. Phase change materials for smart textiles – An overview // *Applied thermal engineering*. 2008. Vol. 28, no. 11–12. P. 1536–1550.
97. Anson R. Microencapsulation: For enhanced textile performance // *Performance Apparel Markets*. 2005. Vol. 12. P. 21–39.
98. Sarier N. The manufacture of microencapsulated phase change materials suitable for the design of thermally enhanced // *Thermochimica acta*. 2007. Vol. 452, no. 2. P. 149–160.
99. Özönür Y. Microencapsulation of coco fatty acid mixture for thermal energy storage with phase change material // *International Journal of Energy Research*. 2006. Vol. 30, no. 10. P. 741–749.
100. Chang Z. Review on the preparation and performance of paraffin-based phase change microcapsules for heat // *Journal of Energy Storage*. 2022. Vol. 46. P. 103840.
101. Marina A. Chemical properties of virgin coconut oil // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2009. Vol. 86. P. 301–307.
102. Liu X., Sheng X., Lee J.K., Kessler M.R. Synthesis and Characterization of Melamine-Urea-Formaldehyde Microcapsules Containing ENB-Based Self-Healing Agents // *Macromolecular Materials Engineering*. 2009. Vol. 294. P. 389–395.
103. Раскутин А.Е., Хрульков А.В., Язвенко Л.Н. Полимерное пленочное покрытие для конструкций из ПКМ (обзор) // *Научно-технический журнал "Труды ВИАМ"*. 2017. № 2(50). URL: <http://www.viam-works.ru>
104. Карцева Ю.Е., Зимнуров А.Р., Козлова О.В. Отечественные композиции для текстильной пигментной печати // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*. 2020. №. 1. С. 291-293.
105. Ерзунов К.А. Получение наноразмерных цинксодержащих полифункциональных покрытий на текстильных материалах // *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 2023. №. 9. С. 89-95.

Поступила в редакцию 25.10.2023

Одобрена после рецензирования 03.11.2023

Принята к опубликованию 14.11.2023