

ПРИДАНИЕ ГИДРОФОБНЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ ПУТЕМ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРАМИ*

GRANTING HYDROPHOBIC PROPERTIES TO TEXTILE MATERIALS BY SURFACE MODIFICATION WITH POLYMERS

Р.А. ГРИШИН¹, Е.Б. САНЖЕЕВА², О.В. КОЗЛОВА¹, О.И. ОДИНЦОВА¹
R.A. GRISHIN¹, E.B. SANZHEEVA², O.V. KOZLOVA¹, O.I. ODINTSOVA¹

(¹Ивановский государственный химико-технологический университет,
²ООО «БТК Текстиль»)

(¹Ivanovo State University of Chemical Technology,
² LLC BTK Textile)

E-mail: ovk-56@mail.ru

Статья посвящена обзору современных видов покрытий и методов придания текстильным материалам гидрофобности. Показано состояние гидрофобной отделки на мировом рынке текстильной отрасли. Отмечено, что недостаток отечественных препаратов для реализации технологии успешно преодолевается с развитием и расширением рынков текстильной химии в России. Выявлена тенденция постепенного ухода от водных технологий с пропиткой текстильного материала гидрофобизаторами к реализации более экологичных процессов – нанесению полимерных функциональных покрытий ракеельным способом. Описаны возможные варианты технологической реализации процессов нанесения полимерных покрытий, обеспечивающих получение гидрофобной отделки, ориентированных на создание конкурентоспособной продукции.

The article is devoted to a review of modern types of coatings and methods of imparting hydrophobicity to textile materials. Article illustrates the state of hydrophobic finishing in the world textile market. It is noted that the lack of domestic preparations for the implementation of the technology is successfully overcome with the development and expansion of textile chemistry markets in Russia. The trends of gradual departure from water technologies with impregnation of textile material with water repellents to the implementation of more environmentally friendly processes - application of polymer functional coatings by squeegee method are shown. Possible options for the technological implementation of the processes of applying polymer coatings that ensure hydrophobic finishing, aimed at creating competitive products are described.

Ключевые слова: текстильные материалы, покрытия, полимеры, водоотталкивание, гидрофобизация.

Keywords: textile materials, coatings, polymers, water repellency, hydrophobization.

* Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИР, тема № FZZW-2023-0008 (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

Бурное развитие инновационного текстиля с функциональными свойствами вызвано появлением наукоемких технологий, активно используемых в одежде, защитных материалах и покрытиях, техническом текстиле. В зависимости от условий эксплуатации таких текстильных материалов им придаются специальные свойства, основанные на использовании методов физической, композитной, химической и поверхностной модификации полимерами.

Независимо от методов получения вышеуказанным материалам придаются необходимые при их эксплуатации функциональные свойства: водо-, масло-, нефте- и грязеотталкивание, огне-, теплозащита и др.

Одним из актуальных и простых способов создания таких материалов является модификация с использованием полимерных композиций. Полимер нашел свое применение и в текстильной промышленности, позволяя создавать на поверхности текстильных материалов покрытия с различными свойствами. Он не ухудшает пластичность ткани, устанавливает защитные качества благодаря качественной обработке не только натуральных, но и синтетических материалов. Поэтому практически вся защитная одежда изготавливается из текстиля с применением полимерных модификаторов.

В настоящее время отечественная текстильная и легкая промышленность претерпевает значительные изменения, основанные на инновационных подходах и достижениях фундаментальной науки.

К продукции данной отрасли относятся изделия швейной промышленности и текстильные материалы, обладающие особыми свойствами. Определенный интерес производителей и потребителей вызывают гидрофобные материалы, обладающие высокими гигиеническими характеристиками. Поэтому задача придания гидрофобных свойств текстильным материалам является актуальной. В связи с этим особое внимание ученых всего мира [1...4] уделяется изучению процессов гидрофобизации поверхностей текстильных материалов.

Теория гидрофобизации поверхности текстильных материалов

Понятия «гидрофильность» и «гидрофобность» являются частным случаем более общих понятий «лиофильность» и «лиофобность» – характеристик межмолекулярного взаимодействия вещества и жидкой среды, в которой оно находится. Если жидкой средой являются углеводороды (масло, жир), говорят об олеофильности и олеофобности (от лат. *oleum* и греч. *lipos* – масло). Если жидкая среда – вода, то обычно используются термины «гидрофильность» и «гидрофобность» [5].

Угол контакта типичной гидрофобной твердой поверхности колеблется от 100 до 120°, но может быть дополнительно увеличен за счет увеличения шероховатости поверхности. Угол контакта воды может быть увеличен до 175°, если такие твердые поверхности шероховатые, что обеспечивает супергидрофобное поведение [6]. Понимание смачивающего поведения капли воды на твердой поверхности является основой для проектирования супергидрофобной поверхности. Данный характер и, соответственно, величина краевого угла зависят от взаимодействия частиц (молекул, атомов, ионов) с поверхностью твердого тела.

Частицы жидкости взаимодействуют между собой интенсивнее, чем с поверхностью твердого тела, что вызывает неполное смачивание. Если взаимодействие частиц жидкости с твердым телом превышает их взаимодействие между собой, то жидкость полностью смачивает поверхность [7]. Гидрофобными называются те материалы и покрытия, для которых угол смачивания их водой или водными растворами превышает 90°.

В настоящее время активно изучаются свойства гидрофобных материалов. Особенно интересны и актуальны супергидрофобные материалы, угол смачивания которых превышает 150 градусов. Это связано с тем, что текстиль широко используется для производства технических и специальных изделий, для которых необходима высокая гидрофобность, а также ряд таких функциональных свойств, как водонепро-

нищаемость, устойчивость к загрязнению, биоповреждению.

Смачиваемость поверхности зависит от двух факторов: ее химического состава и структуры. Гидрофобность поверхности зависит от свободной поверхностной энергии материала и структуры приповерхностного слоя, наличия микро- и наномасштабной шероховатости [8, 9].

На сегодняшний день имеется огромное количество публикаций по разработке супергидрофобных поверхностей, которые имитируют морфологию поверхности, подобную листьям лотоса, и демонстрируют низкую поверхностную энергию [10...14].

Это революционное исследование дало две важные установки исследователям, одна из которых – придание шероховатости материалам с низкой поверхностной энергией [15, 16], а другая – модификация шероховатых структур материалами с низкой поверхностной энергией [17]. Учеными показано, что необычная смачиваемость поверхности, существующая в природе, может быть получена путем управления геометрической микроструктурой и энергетическими свойствами поверхности.

Обеспечили прорыв в создании супергидрофобных и самоочищающихся текстильных материалов путем нанесения частиц и наночастиц различными методами на поверхность материалов исследования ученых по внедрению таких нанотехнологических процессов, как электропрядение [18], плазменная обработка [19, 20] и золь-гель технология [21, 22]. Зао и др. [23] превратили высокогидрофильные хлопковые ткани в супергидрофобные с помощью электростатической послойной сборки мультислоев полиэлектролита/наночастиц кремния на хлопковых волокнах с последующей обработкой фторалкилсиланом.

Форма и размер шероховатости могут сильно различаться: от упорядоченных до хаотичных структур; от частиц до волокон; от металлов до неорганических и органических соединений.

Для создания шероховатых поверхностей разработаны различные методы, с помощью которых имитируются природные процессы (биомиметика). Так, например,

используя лист лотоса в качестве естественного биологического шаблона, ученые получили множество супергидрофобных поверхностей методом литья различных полимеров, таких как поливинилхлорид [24], поли(диметилсилоксан) [25], поли(этиленоксид) [26]. Группа Цзяна использовала метод электрогидродинамики для разработки композитной пленки из полистирола, демонстрирующей пористые микросферы, подобные листу лотоса, и структуру нановолокон, которая показала супергидрофобность без постхимической модификации [27]. С помощью метода электропрядения [28] этими же учеными получены самоочищающиеся супергидрофобные композитные пленки полианилина/полистирола, которые показали микро/наноструктуру, похожую на лист лотоса.

Существует несколько видов неорганических наноразмерных частиц, таких как SiO_2 , TiO_2 и ZnO , которые могут быть введены на текстильную поверхность. Однако этот метод позволяет создать только подходящую шероховатость поверхности, а чтобы сделать ее сильно гидрофобной, необходима химическая модификация. Иногда в золь-гель процессе соединения, такие как, например, алкилтриалкоксисиланы [29] или функционализированные кремнеземы [30], используются напрямую и образуют слой желаемой шероховатости и низкой поверхностной энергии во время конденсации с тетраэтоксисиланом. Другая возможность состоит в химической модификации волокон с ранее созданной шероховатостью с использованием различных соединений как методами погружения, так и осаждения из паровой фазы [31].

Основной проблемой при разработке супергидрофобных микро/наноструктур с помощью неорганических соединений и наночастиц является низкая механическая прочность покрытий. В связи с этим большинство ученых считает, что перспективные исследования супергидрофобных покрытий должны быть направлены на применение полимерных систем, которые показывают хорошую адгезию с подложками любой формы и размера и могут служить

дольше с высокой механической прочностью и оптической прозрачностью. В обзоре Го и др. [32] утверждается, что естественные супергидрофобные поверхности имеют два основных формата: иерархическую шероховатость и волокнистые структуры одного размера. Второй тип особенно интересен для полимерных материалов, так как легче получить требуемые размеры с более прочными формами.

Для синтеза большинства супергидрофобных поверхностей, разработанных путем имитации микронаноструктуры листа лотоса, используются различные полимеры из-за их естественной гидрофобности и прочности.

Спрос на супергидрофобные покрытия растет, и их разработка, возможно, станет одной из самых сложных и интересных областей исследований в материаловедении текстильных материалов.

Способы придания гидрофобных свойств текстильным материалам

Долгое время отечественная химическая промышленность не имела аналогов появившихся уже в конце XX века европейских полимерных препаратов для специальных видов отделки текстиля. Текстильная химия появилась на российских предприятиях с такими брендами мировой известности, как BASF, СНТ, Huntsman International LLC, Clariant и др. Некоторые из этих компаний сегодня объединены в интегрированную компанию Archroma [33].

Препараты для придания текстильным материалам таких свойств, как водо-, грязе- и маслоотталкивание, огнестойкость, воздухо- непроницаемость, а также бактерицидность, антистатичность и др., на текстильных предприятиях России применяют в водных (водоразбавляемых) аппрететах на стадии заключительной отделки тканей. Пропитку осуществляют в пропиточных машинах плюсованием с последующим отжимом, сушкой и термообработкой горячим воздухом при 140-160°C в натянутом состоянии для завершения процессов полимеризации и формирования защитной пленки полимера на поверхности текстильного материала.

До недавнего времени для придания водо- и маслоотталкивающих свойств использовали парафины (воски), силиконы, фторуглерод и меламин со стеариновой кислотой [34]; для антибактериальной активности – соли металлов (Ag^+ и Cu^{2+}) [35]; для огнестойкости – составы на основе силикона с фосфором или азотом [36].

Гидрофобные свойства текстильным материалам, как было описано выше, можно сообщить путем обработки их препаратами или композитами с низкой поверхностной энергией. Для этого использовали отечественные или зарубежные препараты на основе меламин, этиленмочевины, содержащие жирные кислоты, а также эмульсии парафинов и восков с алюминиевым или циркониевым катализатором. Позднее стали применять препараты на основе силоксанов и полисилоксанов и еще позднее фторсодержащие полимеры. Гидрофобная активность названных препаратов повышается в ряду: парафины, силоксаны, фторсодержащие углеводороды. Преимуществом последних является возможность придания текстильным материалам не только гидрофобных, но и дополнительно масло- и грязеотталкивающих свойств [37]. При этом, как отмечено учеными-текстильщиками, гидрофобная отделка предусматривает придание текстильным материалам способности не смачиваться водой, сохраняя при этом воздухо- и паропроницаемость [1], т. е. обязательным условием придания ткани хорошей гидрофобности является сохранение у текстильных материалов высоких гигиенических свойств. В работе [2] более подробно описано, чем гидрофобизация текстильных материалов отличается от придания водоотталкивающих свойств другим материалам и какими свойствами должно обладать эффективное гидрофобное покрытие.

Известно [38] получение водоотталкивающих свойств на хлопчатобумажных, шерстяных и полиэфирных тканях при использовании в аппретирующих составах поливинилового спирта, эпоксидной смолы, полиакриловой кислоты, додецилсульфат хлорида триметиламмония, силикона либо

специальных клеев с последующим применением изоцианатного отвердителя.

С использованием фторуглеродов, представляющих собой сложные эфиры перфторированного гексанола с полиакриловой кислотой или полиперфторгептилакрилатом, учеными [39, 40] получены хорошие гидро- и олеофобные свойства полиэфирных текстильных материалов ($MO = 100$ усл. ед., $\alpha = 121^\circ$).

Музафаров А.М. и др. [41] разработали способ получения защитного гидрофобного и олеофобного покрытия на текстильном материале, который включает обработку материала раствором фторсодержащего соединения структурной формулы $CF_3-(CF_2)_5-C(O)-NH-(CH_2)_3-Si(OC_2H_5)_3$ с последующим удалением растворителя. Механизм образования химических и физических связей на поверхности материала при его обработке модификатором приведен на рис. 1.

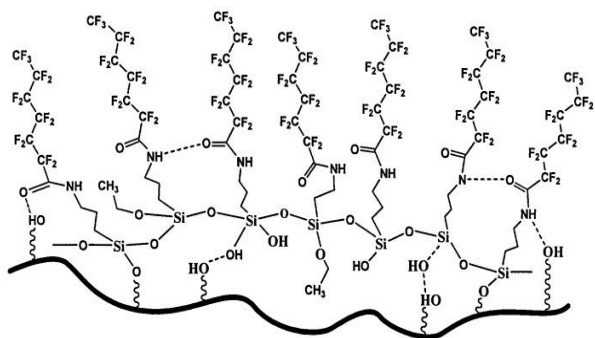


Рис. 1

Авторами показано, что силоксановые связи являются химически более стойкими, чем связи, которые возникают при взаимодействии гидроксильных или карбоксильных групп с функциональными группами гидрофобизатора и которые в условиях влажной обработки могут разрушаться. Физические взаимодействия проявляются по всем типам водородных связей. При этом растворителем может быть любой слабо полярный органический растворитель из ряда: этиловый спирт, изопропиловый спирт, ацетон, тетрагидрофуран, толуол или сверхкритический диоксид углерода. Несмотря на то, что способы позволяют получить высокий эффект гидрофобизации тканей, не-

достатком их является использование органических растворителей.

Актуальным и перспективным направлением является разработка соединений для получения материалов с супергидрофобными свойствами. При обработке такими соединениями материал характеризуется и высоким значением краевого угла смачивания воды, и свободным скольжением капель воды по поверхности.

Климов В.В. и соавторы [42] разработали способ получения на поверхности хлопчатобумажной ткани супергидрофобных свойств путем образования привитого полимерного покрытия из сополимера глицидилметакрилата и лаурилметакрилата. Ткань обрабатывают раствором сополимера глицидилметакрилата и лаурилметакрилата в метилэтилкетоне. При этом в структуре сополимеров эпоксидные группы взаимодействуют с гидроксогруппами на поверхности ткани, а после обработки ткани раствором полученного сополимера в метилэтилкетоне и термообработки при $140^\circ C$ происходит частичное раскрытие оксирановых циклов и ковалентное закрепление сополимера на поверхности хлопчатобумажной ткани. Авторами показано, что после такой обработки при 25-часовом контакте хлопчатобумажной ткани с каплей воды угол составлял около 160° , а после 120 часов контактный угол был равен 154° , что подтверждает получение на ткани супергидрофобных свойств.

Продолжением работ Климова В.В. в области поверхностно-инициированной полимеризации явился [43] метод получения супергидрофобного полимерного покрытия на ткани прививкой к ней гидрофобных полимерных цепей. Для получения реакционноспособных групп на поверхности хлопчатобумажного материала последний выдерживали в полиглицидилметакрилате (ПГМА), который под действием температуры ковалентно фиксировался на поверхности хлопчатобумажной ткани. Далее ткань выдерживалась в растворе α -бromoизобутирилбромида, который взаимодействовал с эпоксидными группами. Затем проводилась обработка поверхности хлопчатобумажной ткани гидрофобны-

ми мономерами ТФЭМА, ГИМА в присутствии катализатора. Толщина покрытия регулировалась временем полимеризации. На рис. 2 представлена схема образования химических связей. Авторами показан эффект получения супергидрофобности, в результате формирования на поверхности ткани привитого полимерного покрытия с многомерной шероховатостью волокон, обеспечивающей высокие водоотталкивающие свойства. Однако из-за сложности протекания процессов эти методы не нашли применения в текстильном производстве.

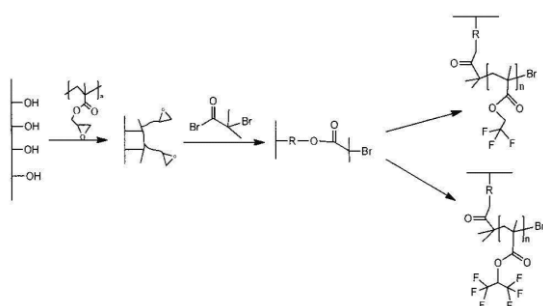


Рис. 2

В большинстве опубликованных работ полученные значения краевых углов смачивания для поверхностей, модифицированных только химическими соединениями (без дополнительной обработки поверхности), находятся в диапазоне $95...115^\circ$. Модификаторами чаще являлись молекулярные соединения, в основном органофункциональные силаны (фтороктилтриэтоксисилан) и полисилоксаны.

Многочисленные исследования ученых, которые использовали фторуглеродные заместители в составе силоксановых олигомеров [40], показали, что при применении этих соединений супергидрофобный эффект наблюдался только в случае обработки твердых поверхностей с наноструктурой. Авторами использованы бифункциональные полисилоксаны, содержащие фторалкильные группы (придающие поверхностные свойства) и триалкоксисилильные или глицидилные группы (связывающиеся с подложками). Ими разработан одностадийный метод модификации ткани путем пропитки растворами полисилоксанов. Метод позволяет производить супергидрофобные ткани,

свойства которых сохраняются даже после многократных стирок.

В исследованиях [44, 45] отмечена наибольшая гидрофобизирующая эффективность фторсодержащих соединений. По мнению ученых, наилучший эффект достигается при применении фторпроизводных кремнийорганических соединений, которые сочетают в себе уникальные свойства обоих компонентов. С одной стороны, наиболее часто применяются фторфункциональные трихлор- и триалкоксисиланы [46, 47], а также фторсилиламид [48]. С другой стороны, классические полисилоксаны использовались относительно редко из-за трудностей с их адгезивностью и прочностью связывания с волокнами. По этой причине на практике нашли применение органофункциональные полисилоксаны с гидроксильными, эпоксидными или аминогруппами в своей структуре [49, 50]. Указанные группы способны реагировать с функциональными группами волокна и обеспечивать процессы сшивки. Полученные результаты измерений контактного угла показывают, что все модифицированные образцы являются сильно гидрофобными. Кроме того, в случае тканей, модифицированных только пропиткой в растворах, высокие значения WCA получаются очень редко.

Еще в начале XXI века исследования ученых показали, что полиэдрические олигомерные сесквисилоксаны (POSS) с фторуглеродными цепями обладают чрезвычайно низкой поверхностной энергией. Они воспроизводят поверхности с очень высоким углом смачивания и низким гистерезисом, но даже их необходимо использовать с повторяющимися поверхностями для создания супергидрофобности [51]. Они были использованы в качестве поверхностного покрытия, но, как показали исследования [52], могли быть добавлены в полимер и самостоятельно распределяться по поверхности, позволяя превращать гидрофильные полимеры в гидрофобные полимерные поверхности без дополнительных этапов обработки. Этот метод также придает поверхности шероховатость нанометрового масштаба из-за агрегации соответствующих

молекул, которые можно рассматривать как молекулярные частицы.

Самые последние разработки заключались в добавлении функциональности к простой супергидрофобности для повышения ценности и создания более совершенных материалов и поверхностей. Это означает, что полимеры становятся предпочтительным материалом для создания супергидрофобных поверхностей как из-за их низкой стоимости и простоты придания сложной формы, так и из-за их химического состава, мягкости, переменной теплопроводности и химической изменчивости.

Таким образом, изложенные в статье исследования ученых показали, что с помощью полимеров можно повысить шероховатость поверхности и добиться супергидрофобности материала. Применение для химической модификации органофункциональных полисилоксанов, имеющих в структуре фторалкильные группы, позволило ученым сформировать однородный полимерный слой вдоль волокна и одновременно создать химическую связь через реакционноспособные группы. При этом отмечено, что небольшое количество групп, которые закрепляют полисилоксан на подложке, заставило оставшуюся часть полисилоксановой цепи из-за ее гибкости претерпевать изгиб, что привело к диверсификации поверхности и экспонированию фторалкильных групп наружу.

Важно заключить, что если гидрофобные водоотталкивающие текстильные материалы можно получить с помощью полимеров, снижающих поверхностную энергию, то для эффекта супергидрофобности обязательным дополнительным условием является образование шероховатости на поверхности волокон ткани.

Перспективные методы нанесения функциональных покрытий на текстиль

В последнее время появилась тенденция проводить для ряда текстиля технического и специального назначения поверхностную модификацию полимерными составами методами ламинирования или ракельного нанесения. Очевидно, это обусловлено рядом причин, из которых можно выделить следующие:

- снижение водопотребления на промышленных предприятиях, а соответственно количества загрязненных сточных вод [53];

- появление полимеров нового поколения, которые способны после нанесения их на ткань в процессе термообработки химически взаимодействовать с функциональными группами волокна и образовывать пространственно-сшитые структуры, а при введении в полимерные составы минеральных наномодификаторов образовывать упорядоченные и структурно-модифицированные полимерные покрытия, обладающие дополнительной силой прочно удерживаться на текстильном материале и перманентно выполняющие свои защитные или другие функциональные свойства;

- унификация текстильных производств, ориентированных на получение защитных и специальных материалов, включая и такие специфичные по волокну составу, как параарамидные, углеродные, стекловолоконистые, базальтовые и др., для которых не свойственны процессы пропитки аппретами;

- появление большого многообразия видов оборудования для ламинирования и ракельного нанесения покрытий в зависимости от назначения материалов и доступность их на российском рынке.

Нанесение покрытия и ламинирование – это два функциональных процесса, которые используются для надлежащей отделки текстильного материалов, широко используемых для изготовления текстильных изделий универсального назначения, таких как водонепроницаемая защитная одежда, брезент, спецодежда, электро- и теплоизоляция и т. д. Процесс ламинирования используется для изготовления текстильных изделий повседневного использования, таких как плотные шторы, жалюзи и др.

В силу высокой конкурентоспособности особенно востребованных на сегодня текстильных материалов и одежды с защитными свойствами большинство компаний держат в секрете составы полимерных покрытий. Известно, что основу покрытий составляют такие полимеры, как полиуретаны, поливинилхлориды, полиметилметакрилаты, полиэтиленвинилацетаты, полиолефины, полипропилены, силиконы, а также

полимеры на основе тетрафторэтилена и др. Для придания комплекса дополнительных улучшенных свойств в состав отделочной композиции могут входить минеральные наполнители, термостабилизаторы, антиоксиданты, пигменты и другие вещества [54].

В последнее время большую востребованность получают водоотталкивающие ткани с мембранными свойствами, ассортимент изделий из которых очень велик – одежда и обувь для активного отдыха, спецодежда для рабочих, пожарных, медработников, форма для спасателей МЧС, изделия технического назначения. Защитные свойства зависят в каждом случае от вида, интенсивности и длительности испытываемых нагрузок. На сегодня самой надежной и комфортной с точки зрения защиты от проникновения атмосферной влаги и отвода водяного пара от тела человека является полимерная мембрана.

Как правило, способ получения тканей с мембранными свойствами реализуется путем приклеивания водостойкой паропроницаемой мембраны к одной из сторон ткани, которая предварительно обработана гидро- или олеофобизатором. Однако отсутствие отечественных высококачественных мембранных материалов и гидрофобизирующих агентов на основе фторуглерода, сдерживает на данном этапе внедрение технологии в производство [55]. Варианты с применением процессов ламинирования описаны в [56].

Технологии получения материалов с мембранными свойствами, разработанные отечественными учеными [57, 58], предусматривают использование специально разработанных композиций на основе водных дисперсий полимеров акриловой или уретановой природы (в отличие от зарубежных технологий, предусматривающих использование органических растворителей). Авторами показано, что можно получить материал с мембранными свойствами (с высокой паропрооницаемостью и требуемыми показателями водоотталкивания) при правильном выборе и формировании волокнистых слоев дублированного материала с использованием полимерно-клеевой композиции, включающей (мет)акриловый сополимер и спе-

циально подобранные добавки неорганической природы. Водоотталкивающие свойства верхнего полиэфирного материала достигаются путем предварительной обработки его перфторакилатным агентом с фиксацией горячим воздухом при температуре 160 °С.

В своих работах [59...61] по созданию маскирующих материалов ученые совместили процессы придания свойств гидрофобизации и свойств ИК-ремиссии и осуществили технологию путем поверхностной модификации текстильного материала полимерной загущенной композицией (ракельным нанесением) с последующей подсушкой и фиксацией горячим воздухом при 150...160°С. Основными компонентами полимерной композиции являлись отечественный полимер акриловой или уретановой природы, сшивающий компонент и препарат на основе фторкарбоновых кислот. Для получения эффекта ИК-ремиссии в модифицирующую полимерную композицию дополнительно вводили в специально выверенных концентрациях ароматическую добавку минерального происхождения (сажевый пигмент, оксид графена, нанографит). Регламенты применения выбранных препаратов, включающие концентрации, технологию нанесения полимерной композиции и параметры термообработки, подробно приводятся авторами в ранних публикациях [60, 61].

Для реализации технологий с поверхностным нанесением на текстильный материал полимерных композиций важным является правильный выбор оборудования.

Распространенный метод нанесения покрытия – это использование техники покрытия blade-over-air («ракля над воздухом»), при которой ракли с усилием вдавливаются в поверхность ткани сверху, позволяя составу покрытия глубоко проникать в поры ткани (рис. 3). Эту технику нанесения используют для получения непроницаемых покрытий на плотных тканях с низкой поверхностной плотностью из полиамидов, полиэфиров.

Однако чаще полимерные покрытия наносят на поверхность материала, ровно и гладко закрывая фактурные особенности ткани, вызывающие снижение механической прочности материала и сопротивления истиранию. В этом случае толщина и

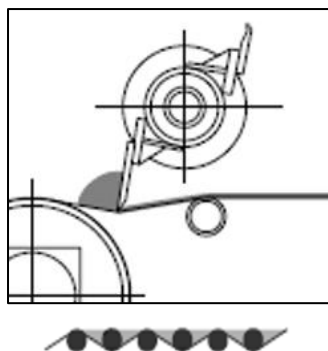


Рис. 3

количество наносимого покрытия зависят от точного расположения ракля с выверенным зазором между нижней частью лезвия и тканью. Способ нанесения приведен на рис. 4.

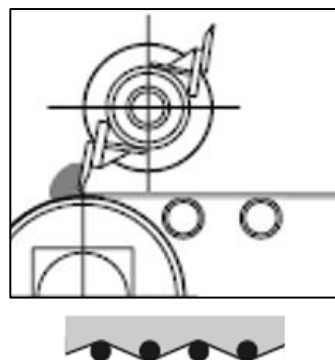


Рис. 4

Заключение

Представленный в статье обзор научно-технических источников иллюстрирует состояние гидрофобной и супергидрофобной отделки на мировом рынке текстильной отрасли. Показана тенденция перехода от водных технологий с пропиткой текстильного материала гидрофобизаторами к реализации более экологичных процессов – нанесению полимерных функциональных покрытий ракельным способом. Основной недостаток – отсутствие отечественных препаратов для реализации технологий – успешно преодолевается с развитием текстильной химии. Опираясь на приведенные в статье материалы российских и зарубежных ученых, можно заключить, что большие перспективы для развития в этом направлении имеет продолжение исследований в области разработки полимерных композиций для поверхностной модификации текстильных материалов с целью их гидрофобизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. Т. 3. Заключительная отделка текстильных материалов: учебник для вузов. М.: РосЗИТЛП, 2001. 298 с.
2. Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu., Kholodkov I.V. Wear-Resistant Hydrophobic Coatings from Low Molecular Weight Polytetrafluoroethylene

Formed on a Polyester Fabric. Coatings. 2022. V. 12. P. 1334...1341. – <https://doi.org/10.3390/coatings12091334>

3. Xu L., Jin H., Wu D. Liu B., Zhang M. Superhydrophobic polystyrene coating based on phase separation of raspberry structure particle. Colloid and Polymer Science. 2021. 299: P. 1695...1702.

4. Prorokova N.P., Odintsova O.I., Rumyantseva V.E. etc. Giving Improved and New Properties to Fibrous Materials by Surface Modification. Coatings 2023, 13, 139. – <https://doi.org/10.3390/coatings13010139>

5. McHale G., Shirtcliffe N.J., Newton M.I. Contact-Angle Hysteresis on Super-Hydrophobic Surfaces. Langmuir 2004, 20, P. 10146...10149.

6. Park S., Kim J., Park C. Superhydrophobic textiles: Review of theoretical definitions, fabrication and functional evaluation. J. Eng. Fiber Fabr. 2015, 10, P. 231...250.

7. Prorokova N.P., Kumeeva T.Y., Kholodkov I.V. Wear-resistant hydrophobic coatings from low molecular weight polytetrafluoroethylene formed on a polyester fabric. Coatings 2022, 12, 1334.

8. Halimatul M.J., Sapuan S.M., Jawaid M. et al. Water absorption and water solubility properties of sago starch biopolymer composite films filled with sugar palm particles. Polimery 2019, 64, P. 27...35.

9. Ilyas R.A., Sapuan S.M., Atiqah A. et al. Sugar palm (Arenga pinnata [Wurmb.] Merr) starch films containing sugar palm nanofibrillated cellulose as reinforcement: Water barrier properties. Polym. Compos. 2019, 41, P. 459...467.

10. Wang S., Feng L., Jiang L. One-Step Solution Immersion Process for the Fabrication of Stable Bionic Superhydrophobic Surfaces. Adv. Mater. 2006, 18, P. 767...770.

11. Yuan Z.Q., Chen H., Tang J.X. et al. A novel preparation of polystyrene film with a superhydropho-

bic surface using a template method. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2007, 40, P. 3485...3489.

12. *Crick C.R., Parkin I.P.* A single step route to superhydrophobic surfaces through aerosol assisted deposition of rough polymer surfaces: Duplicating the lotus effect. *J. Mater. Chem.* 2009, 19, P. 1074...1076.

13. *Bayer I., Steele A., Martorana P., Loth E.* Fabrication of superhydrophobic polyurethane/organoclay nano-structured composites from cyclomethicone-in-water emulsions. *Appl. Surf. Sci.* 2010, 257, P. 823...826.

14. *Lee M.W., An S., Latthe S.S. et al.* Electrospun Polystyrene Nanofiber Membrane with Superhydrophobicity and Superoleophilicity for Selective Separation of Water and Low Viscous Oil. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2013, 5, P. 10597...10604.

15. *Yabu H., Shimomura M.* Single-step fabrication of transparent superhydrophobic porous polymer films. *Chem. Mater.* 2005, 17, P. 5231...5234.

16. *Feng X., Feng L., Jin M. et al.* Reversible super-hydrophobicity to super-hydrophilicity transition of aligned ZnO nanorod films. *J. Am. Chem. Soc.* 2003, 126, P. 62...63.

17. *Teshima K., Sugimura H., Inoue Y. et al.* Transparent ultra water-repellent poly(ethylene terephthalate) substrates fabricated by oxygen plasma treatment and subsequent hydrophobic coating. *Appl. Surf. Sci.* 2005, 244, P. 619...622.

18. *Hutmacher D., Dalton P.* (2011). Melt electrospinning. *Chem Asian J P.* 6:44...56. – doi:10.1002/asia.201000436

19. *Mihailovic' D., S'aponjic' Z., Radoic'ic' M. et al.* (2011). Functionalization of cotton fabrics with corona/air RF plasma and colloidal TiO₂ nanoparticles. *Cellulose P.* 18:811...825. – doi:10.1007/s10570-011-9510-6

20. *Vasiljevic' J., Gorjanc M., Toms'ic' B. et al.* (2013). The surface modification of cellulose fibres to create super-hydrophobic, oleophobic and self-cleaning properties. *Cellulose P.* 20:277...289. – doi:10.1007/s10570-012-9812-3

21. *Mahlting B.* Hydrophobic sol-gel-based coating agent for textiles: improvement by solvothermal treatment. *J Text Inst* 2011. P. 102(5):455...459. – doi:10.1080/00405000.2010.487361

22. *Bae G.Y., Min B.G., Jeong Y.G. et al.* (2009). Superhydrophobicity of cotton fabrics treated with silica nanoparticles and water-repellent agent. *J Colloid Interface Sci* P. 337:170...175. – doi:10.1016/j.jcis.2009.04.066

23. *Zhao Y., Xie Z., Gu H. et al.* Bio-inspired variable structural color materials. *Chem. Soc. Rev.* 2012, P. 3297...3317.

24. *Yuan Z., Chen H., Zhang J.* Facile method to prepare lotus-leaf-like super-hydrophobic poly (vinyl chloride) film. *Appl. Surf. Sci.* 2008, 254, P. 1593...1598.

25. *Guan Z.* Preparation of material surface structure similar to hydrophobic structure of lotus leaf. *J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.* 2008, 23, P. 513...517. *Molecules* 2014, 19 4281.

26. *Jin G., Kim G.* Pressure/electric-field-assisted micro/nanocasting method for replicating a lotus leaf. *Langmuir* 2010, 27, P. 828...834.

27. *Jiang L., Zhao Y., Zhai J.* A Lotus-leaf-like superhydrophobic surface: A porous microsphere/nanofiber composite film prepared by electrohydrodynamics. *Angew. Chem.* 2004, 116, P. 4438...4441.

28. *Zhu Y., Zhang J., Zheng Y. et al.* Stable, superhydrophobic, and conductive polyaniline/polystyrene films for corrosive environments. *Adv. Funct. Mater.* 2006, 16, P. 568...574.

29. *Mahlting B., Böttcher H.* Modified silica sol coatings for water-repellent textiles. *J Sol-Gel Sci Technol* 2003. P. 27:43...52. – doi:10.1023/A:1022627926243

30. *Xue C.H., Jia S.T., Zhang J., Tian L.Q.* (2009). Superhydrophobic surfaces on cotton textiles by complex coating of silica nanoparticles and hydrophobization. *Thin Solid Films* P.517:4593...4598. – doi:10.1016/j.tsf.2009.03.185.

31. *Zhou X., Zhang Z., Xu X. et al.* Robust and durable superhydrophobic cotton fabrics for oil/water separation. *ACS Appl Mater Interfaces* 2013. P. 5:7208...7214. – doi:10.1021/am4015346/

32. *Guo Z.G., Liu W.M., Su B.L.* *Colloid Interface Sci.*, 2011, 353, P. 335...355.

33. *Kusumaatmaja H., Blow M.L., Dupuis A., Yeomans J.M.* The collapse transition on superhydrophobic surfaces, *EPL (Europhys. Lett.)* 81 (3) 2008. 36003.

34. *Волхонская Н.С., Веденева С.Н., Дергачева Т.А.* Разработка технологии пигментной печати, устойчивой к кипячению и глажению, по белым фонемам текстильных материалов различного сырьевого состава // *Текстильная химия.* 2002. № 1 (20). Спец. вып. PCXTK. С. 35...38.

35. *Schindler W.D., Hauser P.J.* *Chemical Finishing of Textiles;* Elsevier; CRC: Boca Raton, Florida, USA, 2004. ISBN 1845690370.

36. *Ghoranneviss M., Shahidi S., Anvari A. et al.* (2011) Influence of plasma sputtering treatment on natural dyeing and antibacterial activity of wool fabrics, *Progress in Organic Coatings*, 70, P. 388...393.

37. *Гроттенмюллер Р.* Фторуглеродное производное новейшее вспомогательное вещество для отделки текстильных материалов // *Текстильная химия.* 1999. Т. 16, №1. С. 57.

38. *Чанурина М.А., Гальбрайт Л.С., Редина Л.В., Колоколкина Н.В.* Поверхностная энергия полиэфирных и вискозных волокон, модифицированных полифторалкилакрилатами // *Хим. волокна.* 2007. №3. С. 9...11.

39. Пат. РФ 2603734 Способ получения полимерного покрытия на поверхности хлопчатобумажной ткани.

40. Пат. РФ 2394956 Способ получения защитного гидрофобного и олеофобного покрытия на текстильном материале.

41. Пат. РФ 2615694 Способ получения полимерного покрытия на поверхности хлопчатобумажной ткани.

42. Пат. РФ 2616048 Способ получения полимерного покрытия на поверхности хлопчатобумажной ткани
43. *Maciejewski H., Karasiewicz J., Dutkiewicz M., Marciniak B.* Hydrophobic materials based on fluorocarbofunctional spherosilicates. *Silicon* 2015. P. 7:201...209. – doi:10.1007/s12633-014-9264-5/
44. *McKeen L.W.* Fluorinated coatings and finishes handbook. Wiliam Andrew Publication, New York. 2006
45. *Owen M.L., Dvornic P.R.* Silicone surface science. Springer, Dordrecht. 2012
46. *Textor T., Mahltig B.* A sol–gel based surface treatment for preparation of water repellent antistatic textiles. *Appl Surf Sci* 2010. P. 256:1668...1674. – doi:10.1016/j.apsusc.2009.09.091.
47. *Hayn R.A., Owens J.R., Boyer S.A. et al.* Preparation of highly hydrophobic and oleophobic textile surfaces using microwave-promoted silane coupling. *J Mater Sci* 2011. P. 46:2503...2509. – doi:10.1007/s10853-010-5100-5.
48. *Evsyukova N.V., Myshkovskii A.M., Polukhina L.M. et al.* Effect of wear factors on lyophobic properties of fabric modified by a fluorosilane. *Fibre Chem* 2011. P. 43:134...137. – doi:10.1007/s10692-011-9320-5.
49. *Mahltig B., Bo'ttcher H.* Modified silica sol coatings for water-repellent textiles. *J Sol–Gel Sci Technol* 2003. P. 27:43...52. – doi:10.1023/A:1022627926243.
50. *Vince J., Orel B., Vilc'nik A. et al.* Structural and water-repellent properties of a urea/poly (dimethylsiloxane) sol–gel hybrid and its bonding to cotton fabric. *Langmuir* 2006. P. 22:6489...6497. – doi:10.1021/la060694a.
51. *Tuteja A., Choi W., Ma M. et al.* Designing superoleophobic surfaces. *Science* 2007, 318, P. 1618...1622.
52. *Misra R., Alidedeoglu A.H., Jarrett W., Morgan S.E.* Molecular miscibility and chain dynamics in POSS/polystyrene blends: Control of POSS preferential dispersion states. *Polymer* 2009, 50, P. 2906...2918.
53. *Aldalbahi A., El-Naggar M.E., El-Newehy M. et al.* Effects of Technical Textiles and Synthetic Nanofibers on Environmental Pollution, *Polymers (Basel)*. 2021 Jan 3;13(1):155. – doi: 10.3390/polym13010155.
54. *Bidoki S.M. and Wittlinger R.* Environmental and economical acceptance of polyvinyl chloride (PVC) coating agents // *Journal of Cleaner Production*, 2010. 18(3), P. 219...225.
55. *Абдуллин И.Ш., Ибрагимов Р.Г., Зайцева О.В. и др.* Современные ткани с мембранным покрытием // *Вестник Казанского технического университета*. 2017. Т. 20. С. 38...42.
56. *Покровская Е.П., Метелева О.В., Бондаренко Л.И.* Расширение функциональных возможностей герметизирующего материала при производстве защитных изделий // *Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных и высоких технологий: тез. докл. межд. науч.-практ. конф. М., 2012. С. 88.*
57. *Полушин Е.Г., Козлова О.В., Одинцова О.И.* Изучение паропроницаемости дублированных текстильных материалов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2019. №6. С. 154...158.
58. *Полушин Е.Г., Козлова О.В., Захарченко А.С., Румянцева В.Е.* Изучение оптических свойств пленок полимеров, используемых в заключительной отделке текстильных материалов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2019. №. 3. С. 48...52.
59. *Зимнуров А.Р., Козлова О.В., Одинцова О.И.* Современное состояние и перспективы развития технологии получения текстиля с ИК-ремиссией // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2020. Т. 50. № 4. С. 40...44.
60. *Санжеева Е.Б., Одинцова О.И., Козлова О.В.* Современные достижения в области применения водных дисперсий акриловых полимеров в производстве текстиля // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2022. № 1 (397). С. 196...200.
61. *Гришин Р.А., Зимнуров А.Р., Санжеева Е.Б. и др.* Полимерное покрытие для придания текстильным рисункам эффекта ИК-ремиссии // *Российский химический журнал*. 2022. №. 2. С. 28...32.

REFERENCES

1. *Krichevsky G.E.* Chemical technology of textile materials. Vol. 3. Final finishing of textile materials: Textbook for universities in 3 volumes. M.: RosZITLP, 2001. 298 p.
2. *Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu., Kholodkov I.V.* Wear-Resistant Hydrophobic Coatings from Low Molecular Weight Polytetrafluoroethylene Formed on a Polyester Fabric // *Coatings*. 2022. V. 12. P. 1334...1341. – <https://doi.org/10.3390/coatings12091334>
3. *Xu L., Jin H., Wu D. Liu B., Zhang M.* Superhydrophobic polystyrene coating based on phase separation of raspberry structure particle. *Colloid and Polymer Science (2021)* 299: P. 1695...1702.
4. *Prorokova N.P., Odintsova O.I., Rumyantseva V.E. etc.* Giving Improved and New Properties to Fibrous Materials by Surface Modification. *Coatings* 2023, 13, 139. – <https://doi.org/10.3390/coatings13010139>
5. *McHale G., Shirtcliffe N.J., Newton M.I.* Contact-Angle Hysteresis on Super-Hydrophobic Surfaces. *Langmuir* 2004, 20, P. 10146...10149.
6. *Park S., Kim J., Park C.* Superhydrophobic textiles: Review of theoretical definitions, fabrication and functional evaluation. *J. Eng. Fiber Fabr.* 2015, 10, P. 231...250.
7. *Prorokova N.P., Kumeeva T.Y., Kholodkov I.V.* Wear-resistant hydrophobic coatings from low molecular weight polytetrafluoroethylene formed on a polyester fabric. *Coatings* 2022, 12, 1334.
8. *Halimatul M.J., Sapuan S.M.; Jawaid M. et al.* Water absorption and water solubility properties of

sago starch biopolymer composite films filled with sugar palm particles. *Polimery* 2019, 64, P. 27...35.

9. *Ilyas R.A., Sapuan S.M., Atiqah A. et al.* Sugar palm (*Arenga pinnata* [Wurmb.] Merr) starch films containing sugar palm nanofibrillated cellulose as reinforcement: Water barrier properties. *Polym. Compos.* 2019, 41, P. 459...467.

10. *Wang S., Feng L., Jiang L.* One-Step Solution Immersion Process for the Fabrication of Stable Bionic Superhydrophobic Surfaces. *Adv. Mater.* 2006, 18, P. 767...770.

11. *Yuan Z.Q., Chen H., Tang J.X. et al.* A novel preparation of polystyrene film with a superhydrophobic surface using a template method. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2007, 40, P. 3485...3489.

12. *Crick C.R., Parkin I.P.* A single step route to superhydrophobic surfaces through aerosol assisted deposition of rough polymer surfaces: Duplicating the lotus effect. *J. Mater. Chem.* 2009, 19, P. 1074...1076.

13. *Bayer I., Steele A., Martorana P., Loth E.* Fabrication of superhydrophobic polyurethane/organoclay nano-structured composites from cyclomethicone-in-water emulsions. *Appl. Surf. Sci.* 2010, 257, P. 823...826.

14. Electrospun Polystyrene Nanofiber Membrane with Superhydrophobicity and Superoleophilicity for Selective Separation of Water and Low Viscous Oil. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2013, 5, P.10597...10604.

15. *Yabu H., Shimomura M.* Single-step fabrication of transparent superhydrophobic porous polymer films. *Chem. Mater.* 2005, 17, P. 5231...5234.

16. *Feng X., Feng L., Jin M. et al.* Reversible superhydrophobicity to superhydrophilicity transition of aligned ZnO nanorod films. *J. Am. Chem. Soc.* 2003, 126, P. 62...63.

17. *Teshima K., Sugimura H., Inoue Y. et al.* Transparent ultra water-repellent poly(ethylene terephthalate) substrates fabricated by oxygen plasma treatment and subsequent hydrophobic coating. *Appl. Surf. Sci.* 2005, 244, P. 619...622.

18. *Hutmacher D., Dalton P* (2011). Melt electrospinning. *Chem Asian J P.* 6:44...56. – doi:10.1002/asia.201000436

19. *Mihailovic' D., Šaponjić' Z., Radoićić' M. et al.* (2011). Functionalization of cotton fabrics with corona/air RF plasma and colloidal TiO₂ nanoparticles. *Cellulose P.* 18:811...825. – doi:10.1007/s10570-011-9510-6

20. *Vasiljević' J., Gorjanc M., Tomšić' B. et al.* (2013). The surface modification of cellulose fibres to create superhydrophobic, oleophobic and self-cleaning properties. *Cellulose P.* 20:277...289. – doi:10.1007/s10570-012-9812-3

21. *Mahltig B.* Hydrophobic sol-gel-based coating agent for textiles: improvement by solvothermal treatment. *J Text Inst* 2011. P. 102(5):455...459. – doi:10.1080/00405000.2010.487361

22. *Bae G.Y., Min B.G., Jeong Y.G. et al.* Superhydrophobicity of cotton fabrics treated with silica nanoparticles and water-repellent agent. *J Colloid Interface Sci* 2009. P. 337:170...175. – doi:10.1016/j.jcis.2009.04.066

23. *Zhao Y., Xie Z., Gu H. et al.* Bio-inspired variable structural color materials. *Chem. Soc. Rev.* 2012, P. 3297...3317.

24. *Yuan Z., Chen H., Zhang J.* Facile method to prepare lotus-leaf-like superhydrophobic poly(vinyl chloride) film. *Appl. Surf. Sci.* 2008, 254, P. 1593...1598.

25. *Guan Z.* Preparation of material surface structure similar to hydrophobic structure of lotus leaf. *J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.* 2008, 23, P. 513...517. *Molecules* 2014, 19 4281.

26. *Jin G., Kim G.* Pressure/electric-field-assisted micro/nanocasting method for replicating a lotus leaf. *Langmuir* 2010, 27, P. 828...834.

27. *Jiang L., Zhao Y., Zhai J.* A Lotus-leaf-like superhydrophobic surface: A porous microsphere/nanofiber composite film prepared by electrohydrodynamics. *Angew. Chem.* 2004, 116, P. 4438...4441.

28. *Zhu Y., Zhang J., Zheng Y. et al.* Stable, superhydrophobic, and conductive polyaniline/polystyrene films for corrosive environments. *Adv. Funct. Mater.* 2006, 16, P. 568...574.

29. *Mahltig B., Böttcher H.* Modified silica sol coatings for water-repellent textiles. *J Sol-Gel Sci Technol* 2003. P. 27:43...52. – doi:10.1023/A:1022627926243

30. *Xue C.H., Jia S.T., Zhang J., Tian L.Q.* Superhydrophobic surfaces on cotton textiles by complex coating of silica nanoparticles and hydrophobization. *Thin Solid Films* 2009. P. 517:4593...4598. – doi:10.1016/j.tsf.2009.03.185.

31. *Zhou X., Zhang Z., Xu X. et al.* Robust and durable superhydrophobic cotton fabrics for oil/water separation. *ACS Appl Mater Interfaces* 2013. P. 5:7208...7214. – doi:10.1021/am4015346/

32. *Guo Z.G., Liu W.M., Su B.L.* *Colloid Interface Sci.*, 2011, 353, P. 335...355.

33. *Kusumaatmaja H., Blow M.L., Dupuis A., Yeomans J.M.* The collapse transition on superhydrophobic surfaces, *EPL (Europhys. Lett.)* 81 (3) 2008. 36003.

34. *Volkhonskaya N.S., Vedeneyeva S.N., Dergacheva T.A.* Development of pigment printing technology, resistant to boiling and ironing, on white backgrounds of textile materials of different raw material composition // *Textile chemistry.* 2002. No. 1 (20). Special issue of the Russian Chemical Industry and Trade. P. 35...38.

35. *Schindler W.D., Hauser P.J.* *Chemical Finishing of Textiles*; Elsevier; CRC: Boca Raton, Florida, USA, 2004; ISBN 1845690370.

36. *Ghoranneviss M., Shahidi S., Anvari A. et al.* (2011) Influence of plasma sputtering treatment on natural dyeing and antibacterial activity of wool fabrics, *Progress in Organic Coatings*, 70, P. 388...393.

37. *Grottenmüller R.* Fluorocarbon derivative is the latest auxiliary substance for finishing textile materials // *Textile Chemistry*, 1999, Vol. 16, No. 1, P. 57.

38. *Chapurina M.A., Galbraikh L.S., Redina L.V., Kolokolnikina N.V.* Surface energy of polyester and vis-

cose fibers modified with polyfluoroalkyl acrylates // *Khim. volokna*. 2007. No. 3. P. 9...11.

39. Patent RU 2603734 C1, IPC D06M 10/12/2015.

40. Patent RU 2394956 C1, IPC D06M 13/408, D06M 15/353, C08F 220/24, D06M 15/347, 12/09/2008.

41. Patent RU 2615694 C1 D06M 15/273, D06M 14/04, 10/12/2015.

42. Patent RU 2616048 C1 D06M 15/273, D06M 14/04, 10/12/2015.

43. *Maciejewski H., Karasiewicz J., Dutkiewicz M., Marciniak B.* (2015) Hydrophobic materials based on fluorocarbofunctional spherosilicates. *Silicon* P. 7:201...209. – doi:10.1007/s12633-014-9264-5/

44. *McKeen L.W.* Fluorinated coatings and finishes handbook. William Andrew Publication, New York. 2006

45. *Owen M.L., Dvornic P.R.* Silicone surface science. Springer, Dordrecht. 2012

46. *Textor T., Mahltig B.* A sol-gel based surface treatment for preparation of water repellent antistatic textiles. *Appl Surf Sci* 2010. P. 256:1668...1674. – doi:10.1016/j.apsusc.2009.09.091.

47. *Hayn R.A., Owens J.R., Boyer S.A. et al.* Preparation of highly hydrophobic and oleophobic textile surfaces using microwave-promoted silane coupling. *J Mater Sci* 2011. P. 46:2503...2509. – doi:10.1007/s10853-010-5100-5.

48. *Evsyukova N.V., Myshkovskii A.M., Polukhina L.M. et al.* Effect of wear factors on lyophobic properties of fabric modified by a fluorosilane. *Fibre Chem* 2011. P. 43:134...137. – doi:10.1007/s10692-011-9320-5.

49. *Mahltig B., Boëtcher H.* Modified silica sol coatings for water-repellent textiles. *J Sol-Gel Sci Technol* 2003. P. 27:43...52. – doi:10.1023/A:1022627926243.

50. *Vince J., Orel B., Vilc̆nik A. et al.* Structural and water-repellent properties of a urea/poly (dimethylsiloxane) sol-gel hybrid and its bonding to cotton fabric. *Langmuir* 2006. P. 22:6489...6497. – doi:10.1021/la060694a.

51. *Tuteja A., Choi W., Ma M. et al.* Designing superoleophobic surfaces. *Science* 2007, 318, P. 1618...1622.

52. *Misra R., Alidedeoglu A.H., Jarrett W., Morgan S.E.* Molecular miscibility and chain dynamics in POSS/polystyrene blends: Control of POSS preferential dispersion states. *Polymer* 2009, 50, P. 2906...2918.

53. *Aldalbahi A., El-Naggar M.E., El-Newehy M. et al.* Effects of Technical Textiles and Synthetic Nanofibers on Environmental Pollution, *Polymers* (Basel). 2021 Jan 3;13(1):155. – doi: 10.3390/polym13010155.

54. *Bidoki S.M. and Wittlinger R.* Environmental and economical acceptance of polyvinyl chloride (PVC) coating agents // *Journal of Cleaner Production*, 2010. 18(3), P. 219...225.

55. *Abdullin I.Sh., Ibragimov R.G., Zaitseva O.V., et al.* Modern fabrics with membrane coating // *Bulletin of Kazan Technical University*, 2017, v. 20, pp. 38...42.

56. *Pokrovskaya E.P., Metelyova O.V., Bondarenko L.I.* Expanding the Functionality of Sealing Materials in the Production of Protective Products // *Today and Tomorrow of Medical, Technical and Protective Textiles. The Role of Traditional and High Technologies: Abstract of the report of the int. scientific-practical. conf. Moscow, 2012.* P. 88.

57. *Polushin E.G., Kozlova O.V., Odintsova O.I.* Study of water-vapor permeability duplicated textile materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2019. No. 6. P. 154 ... 158.

58. *Polushin E.G., Kozlova O.V., Zakharchenko A.S., Rumyantseva V.E.* Studying the optical properties of polymer films used in the final finish of textile materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2019. No. 3. P. 48...52.

59. *Zimurov A.R., Kozlova O.V., Odintsova O.I.* Current state and development prospects of technology for producing textiles with IR remission // *News of higher educational institutions. Technology of light industry*. 2020. Vol. 50. No. 4. P. 40...44.

60. *Sanzheeva E.B., Odintsova O.I., Kozlova O.V.* Modern achievements in the field of application of water dispersions of acrylic polymers in the production of textile // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. No. 1 (397). P. 196...200.

61. *Grishin R.A., Zimurov A.R., Sanzheeva E.B., et al.* Polymer coating for imparting the IR remission effect to textile patterns // *Russian Chemical Journal*. 2022. No. 2. P. 28...32.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов ИГХТУ. Поступила 07.11.24.