

УДК 541(64+15)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-СИНТЕЗИРОВАННЫХ ТЕЛОМЕРОВ ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА С СИЛАНОВЫМИ КОНЦЕВЫМИ ГРУППАМИ ДЛЯ ГИДРОФОБИЗАЦИИ ПОЛИЭФИРНОЙ ТКАНИ

© 2020 г. Г. А. Кичигина^а, *, П. П. Куш^а, Д. П. Кирюхин^а, **, Н. П. Пророкова^б, Т. Ю. Кумева^б

^аФГБУН Институт проблем химической физики РАН, просп. Академика Семенова, 1, Черноголовка, Московская обл., 142432 Россия

^бИнститут химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, ул. Академическая, д. 1, г. Иваново, 153045 Россия

*E-mail: kga@icp.ac.ru

**E-mail: kir@icp.ac.ru

Поступила в редакцию 10.09.2019 г.

После доработки 22.10.2019 г.

Принята к публикации 22.10.2019 г.

Определены оптимальные параметры радиационно-инициированного синтеза теломеров тетрафторэтилена в триметилхлорсилане, предназначенных для гидрофобизации полиэфирных тканей. Оценена эффективность использования теломеров тетрафторэтилена с силановыми концевыми группами в качестве гидрофобизаторов. Показано, что обработка полиэфирной ткани растворами теломеров тетрафторэтилена позволяет сформировать высокогидрофобное покрытие, характеризующееся краевым углом смачивания водой порядка 120° и высокой устойчивостью к эксплуатационным воздействиям. Гидрофобизированная ткань обладает уникально низким водопоглощением и хорошими гигиеническими свойствами.

Ключевые слова: теломеры, тетрафторэтилен, хлорсиланы, гидрофобизация, полиэфирная ткань

DOI: 10.31857/S0023119320020096

Синтетические гидрофобные ткани на основе полиэфирного (ПЭФ) волокна широко используются для изготовления изделий бытового и технического назначения. Основным показателем гидрофобности является краевой угол смачивания (Θ), превышающий 90° и низкие значения водопоглощения [1]. Этого можно добиться в случае формирования сплошного покрытия, имеющего минимальное количество дефектов. Любой текстильный материал, даже состоящий из гидрофобных синтетических нитей, обладает достаточно высокой поверхностной энергией, обеспечивающей смачиваемость его поверхности водой [2]. Для предотвращения смачивания необходимо на поверхности каждой нити, образующей ткань, сформировать новую поверхность, характеризующуюся пониженной поверхностной энергией и сохраняющую воздухо- и паропроницаемость волокнистого материала. Снижения поверхностной энергии тканей добиваются за счет обработки их специальными препаратами-гидрофобизаторами, наиболее эффективными из которых являются фторированные углеводороды [1, 3, 4]. В работах [5–7] описано формирование покрытий с высокой гидрофобностью на основе политетрафторэтилена, в работах [8, 9] — на основе

фторалкилсиланов. Высокая химическая инертность, нерастворимость и ряд других свойств фторполимеров сильно затрудняют формирование покрытий на их основе, поэтому целесообразно использовать растворы фторсодержащих олигомеров, фторкремнийорганических соединений [10]. Одним из эффективных способов синтеза растворов низкомолекулярных фторорганических олигомеров из фтормономеров является радиационная теломеризация тетрафторэтилена (ТФЭ) в различных растворителях. Она позволяет получить растворы теломеров $A(ТФЭ)_nB$ с различными концевыми группами А и В и регулируемой длиной цепи n . При проведении радиационного синтеза в хлорсиланах (диметилдихлорсилан, триметилхлорсилан) [11] образуются теломеры ТФЭ с силановыми концевыми группами.

Ранее было показано, что теломеры ТФЭ, радиационно-синтезированные в ацетоне и хлористом бутиле, являются достаточно эффективными гидрофобизаторами, обеспечивают высокие краевые углы смачивания тканей [12–14]. Однако следует отметить, что применение указанных теломеров имеет некоторые недостатки. Так, ткани с покрытием на основе теломеров ТФЭ, синтезированных в ацетоне, характеризуются высокими кра-

евыми углами смачивания, но недостаточно низким водопоглощением. Теломеры тетрафторэтилена, синтезированные в хлористом бутиле, при длительном хранении могут подвергаться гидролизу, что усложняет их использование. Поэтому задача выбора теломеров ТФЭ, которые позволяют создать качественное малодефектное покрытие, характеризующееся высокими краевыми углами смачивания и низким водопоглощением, остается актуальной. Для формирования высококачественных покрытий необходимо, чтобы теломеры обладали высокими адгезионными свойствами. Предварительные исследования показали, что хорошей адгезией к инертным подложкам обладают радиационно-синтезированные теломеры тетрафторэтилена с концевыми силановыми группами [11]. Для улучшения адгезии покрытия на основе теломеров ТФЭ к полиэфирным волокнистым материалам, обладающим гладкой поверхностью, было рекомендовано проводить активацию волокнистой подложки, используя регулируемый слабый поверхностный гидролиз полиэтилен-терефталата, увеличивающий степень шероховатости поверхности [12, 15–17].

Учитывая все предварительные результаты, в данной работе была проведена радиационно-ионизирующая теломеризация ТФЭ в триметилхлорсилане, определены оптимальные параметры синтеза теломеров и оценена их эффективность для гидрофобизации неактивированной и предварительно химически активированной ПЭФ ткани. Проведена оценка гидрофобных свойств модифицированной ткани.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для синтеза растворов теломеров ТФЭ были использованы газообразный тетрафторэтилен (C_2F_4), содержащий 0.02% примесей, триметилхлорсилан (C_3H_9ClSi , ТМХС) марки “Aldrich”. Для разбавления растворов теломеров применяли этилацетат ($C_4H_8O_2$, ЭА). Все реактивы специальной очистке не подвергались. Радиационная полимеризация проводилась в запаянных стеклянных ампулах. Образцы готовили по стандартной методике: в стеклянную ампулу помещали определенное количество растворителя, освобождали от растворенного воздуха и при 77 К намораживали необходимое количество ТФЭ, ампулу запаивали. Кинетические исследования проводили в ампулах объемом ~5 мл, а наработка растворов в ампулах ~100 мл. Систему перемешивали при комнатной температуре и подвергали облучению γ -лучами ^{60}Co на УНУ “Гамма-100”, мощность дозы облучения 3.6 Гр/с. Концентрация ТФЭ составляла ~0.2–1.2 моль/л. Выход теломера определяли гравиметрически после удаления растворителя из

реакционной смеси. Ошибка измерения не превышала $\pm 0.5\%$.

В качестве объектов исследования использована полиэфирная (ПЭФ) ткань полотняного переплетения массой 175 г/м^2 , с поверхностной плотностью $180 \pm 10 \text{ г/м}^2$ и числом нитей 216 ± 4 на 10 см по основе и 203 ± 4 на 10 см по утку (“Y.R.C. Textile Co., Ltd”, Bangkok, Thailand).

Для обработки образцов ПЭФ ткани использовали растворы радиационно-синтезированных теломеров ТФЭ в ТМХС. Концентрация растворов теломеров, полученных в ТМХС, составляла 5.0 мас. %. Концентрированные растворы теломеров ТФЭ/ТМХС были разбавлены ЭА до концентрации ~2 мас. %.

Гидрофобизации были подвергнуты необработанная и предварительно активированная химическим способом ПЭФ ткани. Для химической активации ПЭФ ткани обрабатывали раствором карбамида концентрации 0.05 моль/л при температуре 100°C в течение 15 мин.

Были применены два способа получения образцов гидрофобизированной ткани. В первом случае обработка ткани проводилась по следующей методике, состоящей из нескольких операций:

1. Образцы погружались в раствор теломеров, время пропитки ~ 10 сек. Пропитка тканей проводилась многократно (максимально – 4-хкратно);

2. После каждой пропитки образцы ткани подвергались сушке при $T = 20\text{--}25^\circ\text{C}$ в течение 24 ч для удаления растворителя, определялся привес образцов. В результате были получены образцы с одно-, двух-, трех- и четырехслойным покрытием из теломеров;

3. Полученные образцы были прогреты при $150^\circ\text{C} \sim 10$ мин.

Во втором случае образцы подвергались термообработкам при $T = 150^\circ\text{C}$ в течение 10–15 мин после каждой пропитки и сушки.

ИК спектры поглощения теломеров ТФЭ в ТМХС регистрировали при комнатной температуре с помощью Фурье ИК-спектрометра Perkin-Elmer “Spectrum 100” с АТР приставкой, позволяющей регистрировать спектры твердых веществ без применения традиционной техники прессования таблеток с бромидом калия. Образцы готовили в виде порошков теломеров, полученных после удаления растворителя из раствора.

Для определения длины цепи теломеров по количеству концевых хлорсилановых групп теломеры были проанализированы методом элементного анализа на содержание хлора.

Краевой угол смачивания водой измеряли методом Оуэнса–Вендта. Водопоглощение тканей определяли в соответствии с ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81) как количество воды, удерживаемой образцом ткани после полного погружения его в жидкость в те-

чение 1 ч. Текстуру волокнистого материала исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа “VEGA 3 SBH” (TESCAN). Устойчивость эффекта гидрофобности к истирающим воздействиям оценивали по изменению величины краевого угла смачивания ПЭФ ткани с покрытием на основе теломеров ТФЭ, которая была подвергнута 50-кратному истирающему воздействию с использованием специального прибора оценки устойчивости окраски к трению ТП-4.

Воздухопроницаемость и паропроницаемость тканей определяли по ГОСТ Р ИСО 9237-99 и ГОСТ 22900-78 с использованием прибора ALT-2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для гидрофобизации образцов ПЭФ ткани были использованы растворы теломеров ТФЭ в ТМХС. Радиационно-инициированная теломеризация ТФЭ в ТМХС приводит к образованию теломеров с общей формулой $A(TФЭ)_nB$, где n – длина цепи, A и B – концевые группы, фрагменты молекул растворителя. Для реакции в ТМХС наиболее вероятными концевыми являются группы Cl и $(CH_3)_3Si$.

При определении оптимальных параметров синтеза растворов теломеров для гидрофобизации следует учесть, что для этих целей необходимо получить достаточно концентрированные растворы теломеров, имеющих определенную среднюю длину цепи. В ранее выполненных исследованиях [18–20] гидрофобизации материалов с тканым переплетением (алюмоборосиликатная стеклоткань, кремнеземная ткань) было показано, что для этих целей применимы теломеры с длиной цепи до 20–30 звеньев ТФЭ. Теломеры с длиной цепи $n \sim 100$ не образуют равномерного покрытия на подложке, оно носит островной характер, не обеспечивающий изделию хорошую гидрофобность, а теломеры с $n \sim 5–10$ не позволяют получить устойчивое термостойкое покрытие.

Длина цепи и выход полученных теломеров зависят от исходной концентрации ТФЭ. Исходя из этого, в настоящей работе были изучены зависимости выхода теломеров от концентрации мономера при определенной дозе облучения, а также от дозы облучения при фиксированной концентрации ТФЭ.

На рис. 1 представлены зависимости выхода теломеров от концентрации ТФЭ (кривая 1) и дозы облучения (кривая 2). При выбранной дозе облучения (13 кГр), выход теломеров в ТМХС слабо зависит от концентрации ТФЭ. Увеличение концентрации мономера в 3 раза (кривая 1) приводит к изменению выхода теломера \sim на 10%, но образующиеся при этом теломеры имеют разную среднюю длину цепи. Очевидно, что для подбора

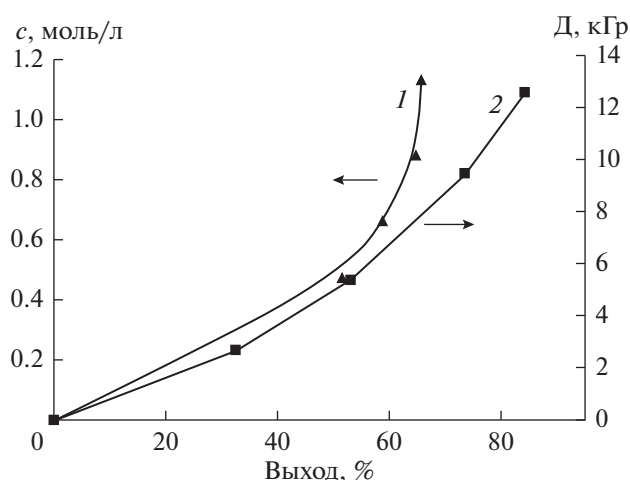


Рис. 1. Зависимости выхода теломеров от концентрации тетрафторэтилена (1) при дозе облучения 13 кГр и от дозы облучения при $c_{ТФЭ} \sim 1.0$ моль/л (2).

концентрации ТФЭ следует учесть длину цепи получаемых теломеров.

Среднюю длину цепи можно оценить по количеству концевых групп теломеров, зная их состав. Молекулярное строение полученных теломеров ТФЭ в ТМХС было изучено методом ИК-спектроскопии (рис. 2). Сравнение спектров теломеров, ПТФЭ [21] и силанов [22] показывает, что наиболее интенсивные полосы в спектре теломеров относятся к валентным колебаниям ν_{C-F} групп CF_2 и регистрируются в области 1208 и 1152 cm^{-1} .

Помимо этих полос в спектрах регистрируется ряд дополнительных полос (показаны стрелками) в области 700–1300 и 3000 cm^{-1} , относящихся к колебаниям концевых (силановых) групп теломеров. Для ТМХС, содержащего метильные группы, характерно поглощение в области 760, 850 и 1250 cm^{-1} [22]. В спектре теломеров наблюдаются полосы поглощения в этих областях. Кроме этого, в спектре теломеров регистрируются полосы поглощения валентных колебаний ν_{C-H} метильных групп в области 2900–3000 cm^{-1} . На основе предположения, что одной из концевых групп молекулы теломера является Cl , можно ожидать, что в спектре будет наблюдаться полоса поглощения связи $C-Cl$. Колебания этой связи регистрируются, вероятно, при ~ 810 cm^{-1} в спектре теломеров в ТМХС (рис. 2, вставка).

Учитывая анализ полученных ИК-спектров поглощения, можно полагать, что концевыми группами теломера являются фрагменты молекулы ТМХС (Cl и $(CH_3)_3Si$), и по содержанию хлора рассчитать среднее значение числа тетрафторэтиленовых звеньев n в теломерах. Образцы теломеров, полученные в ТМХС с исходными концентрациями ТФЭ ~ 0.2 и 1.0 моль/л, были проанализиро-

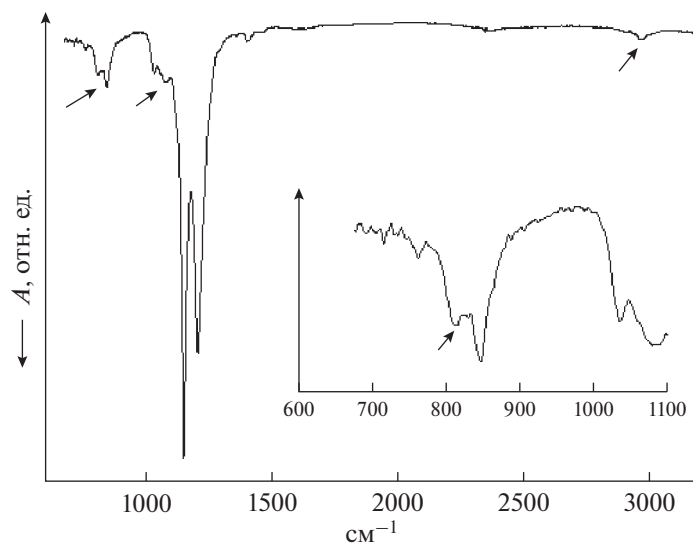


Рис. 2. ИК-спектры пропускания теломеров ТФЭ в ТМХС. На вставке фрагмент спектра в увеличенном масштабе.

ваны методом элементного анализа на содержание хлора. Оказалось, что длина цепи теломеров, полученных в ТМХС, ~ 10 – 15 и 25 – 30 звеньев ТФЭ при концентрациях мономера 0.2 и 1.0 моль/л соответственно.

Изучение зависимости выхода теломеров при концентрации ТФЭ ~ 1.0 моль/л показывает, что выход продукта растет с дозой облучения и достигает 80% при дозе 13 кГр (рис. 1, кривая 2). Исходя из полученных результатов, были выбраны оптимальные условия для наработки теломеров для пропитки ткани: $C_{\text{ТФЭ}} \sim 1.0$ моль/л и доза ~ 15 кГр.

Теломеры, полученные в ТМХС, как и других растворителях, представляют собой полупрозрачные коллоидные растворы. Для пропитки были получены концентрированные растворы ТФЭ/ТМХС с концентрацией 5 мас. %. Концентрированные растворы теломеров ТФЭ/ТМХС были разбавлены этилацетатом до концентрации ~ 2 мас. %. Как отмечалось в методической части, пропитка проводилась многократно, двумя способами. В первом случае после каждой пропитки образцы ткани подвергались сушке при $T = 20$ – 25°C для удаления растворителя, а заключительная термообработка при $T = 150^\circ\text{C}$ проводилась однократно после нанесения последнего слоя теломера. В результате были получены образцы с одно-, двух-, трех- и четырехслойным покрытием из теломеров. Ранее, при получении гидрофобных фторсодержащих стеклотканей, было показано, что существенное влияние на гидрофобность полученного материала оказывает прогрев образца при 150 – 200°C после каждого нанесения теломера и высушивания его при комнатной температуре. Прогрев образца способствует удалению нетермостабильных теломеров с малой длиной цепи,

формированию более плотного однородного покрытия на стеклоткани, и, соответственно, улучшению гидрофобности. Исходя из этого, были получены образцы модифицированной ПЭФ ткани по второму способу. Суть его заключается в том, что после пропитки раствором теломера и сушки при 20 – 25°C проводился прогрев каждого нанесенного слоя теломера при 150°C в течение 10 – 15 мин.

Данные по привесу образцов, полученные в результате обоих экспериментов, приведены на рис. 3. В обоих случаях привес образцов растет практически линейно с увеличением количества пропиток. Максимальный привес образцов в результате 4 -х кратной пропитке не превышает 5 – 6% .

В целом, количество теломеров ТФЭ, нанесенных на образцы, подвергнутые послойной термической обработке, уменьшается незначительно, что свидетельствует о том, что теломеры ТФЭ, полученные в ТМХС при исходной концентрации ТФЭ ~ 1.0 моль/л и дозе 15 кГр, содержат малое количество низкомолекулярных продуктов и обладают достаточно хорошей термостабильностью. Таким образом, ткани, обработанные теломерами ТФЭ/ТМХС, могут эксплуатироваться при достаточно высоких температурах без потери качества покрытия.

На рис. 4 представлены изображения ПЭФ ткани, обработанной теломерами ТФЭ/ТМХС. Из рисунка следует, что покрытие на основе теломеров ТФЭ сформировано на поверхности отдельных нитей. Покрытия не перекрывают межволоконные пространства, что важно для сохранения воздухо- и паропроницаемости ткани. Сравнение покрытий, сформированных при двух- и четырехкратном нанесении теломеров ТФЭ, показало, что при двукратном нанесении теломеров (рис. 4а) по-

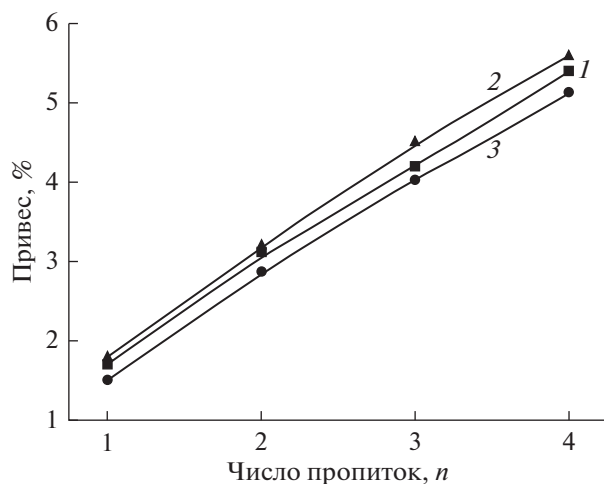


Рис. 3. Зависимость привеса образцов от количества пропиток для неактивированных (1) и активированных (2) образцов с прогревом последнего слоя и образцов с послойным прогревом (3).

крытие носит более упорядоченный характер. При четырехкратной пропитке теломерами (рис. 4б) наносится их избыточное количество.

Были изучены гидрофобные характеристики обработанных ПЭФ тканей с покрытиями на основе теломеров ТФЭ/ТМХС, полученные обоими способами (с прогревом последнего слоя и послойным прогревом). Полученные данные представлены в табл. 1. В таблице также приведены характеристики тканей с покрытиями на основе теломеров ТФЭ, предварительно активированных химическим способом.

Из таблицы следует, что использование в качестве гидрофобизатора для полиэфирной ткани те-

ломеров ТФЭ/ТМХС при двукратном и трехкратном нанесении для неактивированной ткани и одно-, двукратном нанесении для активированной обеспечивает придание ткани ультрагидрофобности (краевые углы смачивания $\Theta > 120^\circ$ [23]). При более высокой кратности нанесения краевые углы смачивания снижаются вследствие нанесения на ткань избыточного количества теломеров. При одно- и двукратном нанесении теломеров краевые углы смачивания активированной ткани несколько превышают соответствующий показатель неактивированной. По-видимому, это является следствием установленного ранее [17] повышения шероховатости ПЭФ подложки в результате активации.

Следует отметить, что использование теломеров ТФЭ/ТМХС в качестве гидрофобизатора обеспечивает придание ПЭФ ткани уникально низкого водопоглощения. Наиболее низким водопоглощением обладают ПЭФ ткани при двукратном нанесении покрытия. Водопоглощение обработанной ткани уменьшается в 30 раз, по сравнению с необработанной. Следовательно, такие покрытия являются равномерными и бездефектными. Водопоглощение предварительно активированной ткани с покрытием из теломеров ТФЭ выше водопоглощения неактивированной, что является свидетельством меньшей упорядоченности и более высокой дефектности формируемого на ней покрытия. Это связано с доказанным ранее образованием в результате активации на поверхности ПЭФ материала дополнительного количества кислородсодержащих групп. Следует предположить, что при нанесении на поверхность ПЭФ ткани фторполимерного покрытия гидрофильные (гидроксильные и карбоксильные) группы в местах их нахождения препятствуют взаимодействию молекул полиэтилентерефталата и теломеров ТФЭ.

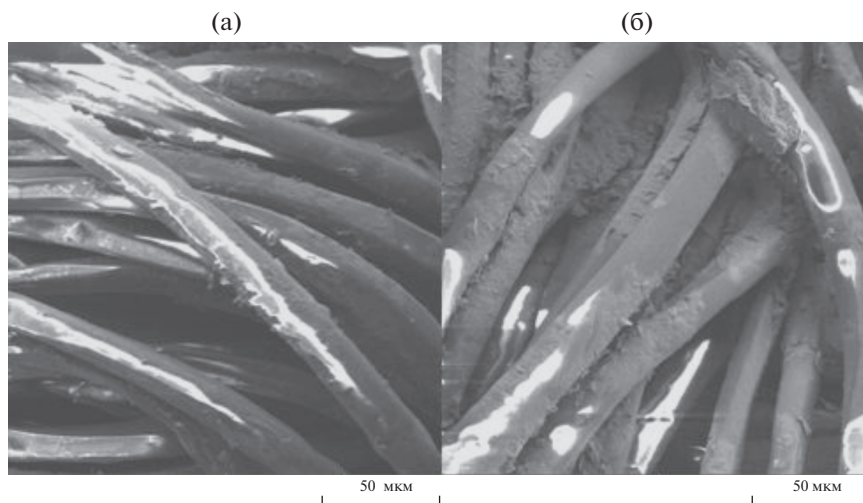


Рис. 4. Изображения ПЭФ ткани, обработанной двукратно (а) и четырехкратно (б) растворами теломеров ТФЭ/ТМХС.

Таблица 1. Краевые углы смачивания (Θ) и водопоглощение ПЭФ тканей с покрытиями из теломеров ТФЭ

Количество пропиток, n	Θ , град.	Θ , после истирания, град.	Водопоглощение, %
0	Вода впитывается мгновенно		38.0 ± 0.9
Покрyтия из теломеров ТФЭ/ ТМХС на неактивированной ткани			
1	115 ± 2	123 ± 2	2.1 ± 0.2
2	125 ± 2	126 ± 2	1.2 ± 0.1
3	123 ± 2	123 ± 2	2.4 ± 0.2
4	112 ± 2	112 ± 2	4.8 ± 0.3
Покрyтия из теломеров ТФЭ/ ТМХС на активированной ткани			
1	124 ± 2	117 ± 2	5.9 ± 0.3
2	128 ± 2	110 ± 2	5.3 ± 0.3
3	109 ± 2	105 ± 2	4.6 ± 0.3
4	107 ± 2	98 ± 2	4.0 ± 0.2
Покрyтия из теломеров ТФЭ/ ТМХС с послойной термообработкой			
2	118 ± 2	115 ± 2	4.9 ± 0.3
4	118 ± 2	102 ± 2	9.1 ± 0.5

Водопоглощение увеличивается также с повышением кратности нанесения теломеров ТФЭ и их избыточным количеством, что особенно заметно для 4-х слойного покрытия. Покрытия при этом становятся, вероятно, слишком шероховатыми, приобретают дефекты структуры, и, соответственно, нет никакой необходимости в увеличении количества наносимого теломера.

Промежуточная послойная термообработка, примененная для данных тканей, в отличие от стеклотканей, не приводит к улучшению качества покрытия, поскольку краевые углы смачивания несколько ниже, а водопоглощение выше. Возможно этот эффект связан с различной структурой и плотностью стеклотканей и ПЭФ тканей.

В таблице представлены также показатели устойчивости покрытий ПЭФ ткани на основе теломеров ТФЭ к интенсивным истирающим воздействиям. Об устойчивости покрытий судили по изменению их краевых углов смачивания после интенсивных истирающих воздействий (50 циклов истирания). Покрытия на основе теломеров ТФЭ, сформированные на неактивированной ткани, характеризуются высокой устойчивостью к интенсивным истирающим воздействиям. При однократном нанесении теломеров ТФЭ наблюдается даже некоторое возрастание краевого угла смачивания, что как показано ранее [12–14] связано с перераспределением покрытия, которое, подобно ПТФЭ, обладает способностью изменять форму под действием механической нагрузки. После перераспределения ультратонкое покрытие на основе теломеров ТФЭ повторяет выпуклости и впадины

волокнистой подложки, что приводит к росту краевого угла смачивания.

Адгезия покрытий на основе теломеров ТФЭ к полиэфирной ткани в результате активации снижается, несмотря на повышение шероховатости поверхности активированной ткани, что связано с отмеченным выше образованием в результате активации на поверхности ПЭФ материала дополнительного количества кислородсодержащих групп. Это свидетельствует об отсутствии необходимости предварительной активации ПЭФ ткани при гидрофобизации ее теломерами ТФЭ/ТМХС.

Промежуточная термообработка также несколько снижает устойчивость теломерного покрытия к истиранию. Это может быть связано со снижением пластичности покрытия в результате термодеструкции низкомолекулярной фракции теломеров. Соответственно, можно сделать вывод о том, что при гидрофобизации ПЭФ тканей растворами теломеров ТФЭ/ТМХС нет необходимости в проведении дополнительного послойного прогрева.

Оценка гигиенических свойств гидрофобизированной ПЭФ ткани показала, что ее воздухо- и паропроницаемость сохраняются на достаточно высоком уровне. Воздухопроницаемость ткани, двукратно и четырехкратно обработанной теломерами ТФЭ/ТМХС, обладающей хорошей гидрофобностью, составляет $\sim 103 \pm 10$ и 99 ± 10 $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, что соответствует 90% и 86% от воздухопроницаемости необработанной ткани (115 ± 12 $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$). Паропроницаемость исходной ткани составляет 3.5 ± 0.3 $\text{мг}/\text{см}^2 \cdot \text{ч}$, а двукратно обработанной гидрофобной – 4.1 ± 0.5 $\text{мг}/\text{см}^2 \cdot \text{ч}$, т.е. остается на хо-

рошем уровне. Ткани с покрытиями из теломеров ТФЭ/ТМХС сохраняют способность “дышать”, что важно при их практическом применении.

Таким образом, учитывая все полученные результаты, можно сделать вывод, что теломеры ТФЭ, радиационно-синтезированные в триметилхлорсилане, являются достаточно эффективными гидрофобизаторами для ПЭФ ткани, позволяющими создать высокогидрофобное покрытие, имеющее краевые углы смачивания выше 120°, устойчивое к истиранию, обеспечивающее ткани уникально низкое водопоглощение и сохраняющее воздухо- и паропроницаемость ткани на высоком уровне.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена с использованием УНУ “Гамматок-100” ИПХФ РАН, оборудования Аналитического центра коллективного пользования ИПХФ РАН, Центра коллективного пользования научным оборудованием “Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований”. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ивановской области в рамках научного проекта *p_центр_a* № 18-48-370005, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 55 “Арктика — научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития” и темы Государственного задания № 0089-2019-0008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В.А. Коллоидная химия. М.: МГТУ. 2001. 640 с.
2. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. М.: РосЗИТЛП, 2001. Т. 3. 298 с.
3. Хвала А., Ангер В. Текстильные вспомогательные вещества. Т. 2. Пер. под ред. Г.Е. Кричевского. М.: Легпромбытиздат, 1991. 424 с.
4. Гроттенмюллер Р. // Текстильная химия. 1999. № 16(1). С.57.
5. Кумеева Т.Ю., Пророкова Н.П., Холодков И.В., Пророков В.Н., Буяновская А.Г., Кабаева Н.М., Гумилева Л.В., Бараковская И.Г., Таказова Р.У. // Журн. прикладной химии. 2012. Т. 85. № 1. С. 151.
6. Oner D., McCarthy J. T. // Langmuir: The ACS Journal of Surfaces and Colloids. 2000. V. 16. P. 7777.
7. Minko S., Müller M., Motorov M., Nitschke M., Grundke K., Stamm M. // J. Am. Chem. Soc. 2003. V. 125. P. 3896.
8. Schondelmaier D., Cramm S, Klingeler R., Morenzin J., Zilkens C., Eberhardt W. // Langmuir: The ACS J. Surfaces and Colloids. 2002. V. 18. P. 6242.
9. Nakajima A., Abe K., Hashimoto K., Watanabe T. // Thin Solid Films. 2000. V. 376. P. 140.
10. Бузник В.М. // Рос. Хим. журн. (Журн. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2008. Т. 52. № 3. С. 7.
11. Кичигина Г.А., Куц П.П., Кирюхин Д.П. // Химия высоких энергий. 2017. Т. 51. № 2. С. 103.
12. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Хорев А.В., Бузник В.М., Кирюхин Д.П., Большаков А.И., Кичигина Г.А. // Химические волокна. 2010. Т. 42. С. 25.
13. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Кирюхин Д.П., Бузник В.М. // Журн. прикладной химии. 2013. Т. 86. № 1. С. 68.
14. Кумеева Т.Ю., Пророкова Н.П., Кичигина Г.А. // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2015. Т. 51. № 4. С. 428.
15. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Кирюхин Д.П., Никитин Л.Н., Бузник В.М. // Рос. Хим. журн. (Журн. Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). 2011. т. LV. № 3. С. 14.
16. Пророкова Н.П., Бузник В.М., Кирюхин Д.П., Никитин Л.Н. // Химическая технология. 2010. Т. 11. № 4. С. 213.
17. Prorokova N.P., Chorev A.V., Kuzmin S.M., Vavilova S.Yu., Prorokov V.N. // Chemistry & Chemical Technology. 2014. V. 8. № 3. P. 293.
18. Алдошин С.М., Барелко В.В., Кирюхин Д.П., Куц П.П., Петряков Д.Н., Дорохов В.Г., Быков Л.А., Смирнов Ю.Н. // Доклады Академии наук. 2013. Т. 449. № 1. С. 55.
19. Кичигина Г.А., Куц П.П., Кирюхин Д.П., Барелко В.В., Дорохов В.Г., Быков Л.А., Кузнецов М.В. // Химическая технология. 2015. № 6. С. 326.
20. Кирюхин Д.П., Кривоногова Е.А., Кичигина Г.А., Куц П.П., Дорохов В.Г., Барелко В.В. // Журн. прикладной химии. 2016. Т. 89. № 5. С. 624.
21. Дехант И., Данц Р., Киммер В. Инфракрасная спектроскопия полимеров. М.: Химия, 1976.
22. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул / Пер. под ред. Ю.А. Пентина. М.: ИЛ, 1963. 592 с.
23. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. // Успехи химии. 2008. Т. 77. № 7. С. 619.