

УДК 677.494

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_3\_234

**КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫЕ НИТИ  
С УСТОЙЧИВЫМ ФТОРОПЛАСТОВЫМ ПОКРЫТИЕМ\*****COMPLEX TEXTILE POLYPROPYLENE YARNS  
WITH STABLE FLUOROPLASTIC COATING**

Н.П. ПРОРОКОВА, С.Ю. ВАВИЛОВА

N.P. PROROKOVA, S.Yu. VAVILOVA

(Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук)

(G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences)

E-mail:

*В статье представлен простой и эффективный способ получения текстильных полипропиленовых нитей с устойчивым покрытием на основе политетрафторэтилена (фторопласта). Способ реализуется на стадии получения полипропиленовых нитей из расплава. Он основан на формировании на поверхности каждого филамента, образующего нить, ультратонкого, сплошного, равномерного покрытия из политетрафторэтилена. Показано, что такая нить обладает повышенной прочностью и чрезвычайно высокой хемостойкостью. Нанесенное покрытие обладает высокой устойчивостью к эксплуатационным воздействиям. Рассмотрено влияние на свойства полипропиленовых нитей с фторопластовым покрытием введения в структуру покрытия малых количеств биологически активных наночастиц магнетита. Установлено, что полипропиленовая нить с модифицированным наночастицами фторопластовым покрытием приобретает барьерные антимикробные свойства. Снижается ее поверхностное электрическое сопротивление.*

*The article presents a simple and effective method for obtaining textile polypropylene yarns with a stable coating based on polytetrafluoroethylene (fluoroplast). The method is applied at the stage of melt-spinning of polypropylene yarns. It is based on the formation of an ultrathin, continuous and even coating of polytetrafluoroethylene on a surface of each yarn-forming filament. It is shown that such yarns had increased strength and extremely high chemical resistance. The applied coating has a high resistance to operational influences. The influence of*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание рег. № НИОКИРАААА-А21-122040500050-5)

*the introduction of small amounts of biologically active nanoparticles of magnetite into the coating structure on the properties of polypropylene yarns with a fluoroplastic coating is considered. It has been established that a polypropylene yarn with a fluoroplastic coating modified with nanoparticles acquires barrier antimicrobial properties. Its surface electrical resistance decreases.*

**Ключевые слова:** полипропиленовые нити, политетрафторэтилен, фторопластовое покрытие, наночастицы магнетита, прочность, хемостойкость, антимикробные свойства, поверхностное электрическое сопротивление.

**Keywords:** polypropylene yarns, fluoroplastic coating, magnetite nanoparticles, strength, chemical resistance, antimicrobial properties, surface electrical resistance.

Волокна, нити и ткани, обладающие высокой химической стойкостью, пользуются постоянным высоким спросом. Они применяются для изготовления тканей для фильтрации горячих газов и сильно агрессивных жидкостей, кислотоупорных набивок для центробежных насосов, спецодежды и других изделий. Как известно, максимально высокой химической стойкостью обладают фторсодержащие волокнистые материалы, особенно волокна из политетрафторэтилена (ПТФЭ) – Teflon®, Toyoflon®, Polifen®. Однако переработка ПТФЭ (фторопласта) в волокна затрудняется из-за того, что этот полимер не может быть переведен в расплав без разложения и не растворяется в известных растворителях. Для получения волокон и нитей из фторопласта разработан принципиально новый метод, отличающийся от методов получения других синтетических волокон [1...5]. Он основан на формировании волокон из загущенной специальным полимером-загустителем водной дисперсии ПТФЭ. Такие волокна подвергаются быстрому нагреву до 380-390 °С, в процессе которого полимер-загуститель разрушается и удаляется в виде газообразных веществ, а ПТФЭ спекается до начала разложения. Для упрочнения волокон и нитей они подвергаются дополнительному ориентационному вытягиванию при повышенной температуре. Описанный способ является технологически сложным, энергоемким, экологически опасным и дорогостоящим.

Возможно также получение нитей из фторполимеров методом электроформования полимерных растворов. Однако в связи с тем, что растворимыми является лишь крайне малое количество фторполимеров, такой способ применим только к фторопластам Ф-42, Ф-32, Ф-26 [6,7].

В последние десятилетия начато получение волокон из фторопласта методом твердофазного формования, в основе которого лежит явление сверхпластичности ПТФЭ, обнаруженное при исследовании ориентационного деформирования полимеров под гидростатическим давлением [8,9]. Новый метод является более простым и безопасным. Однако, хотя стоимость волокон на основе фторопласта, полученных по новому способу, несколько снижается, она все же остается чрезвычайно высокой, что связано с дороговизной сырья.

Перспективным путем снижения материалоемкости и, как следствие, стоимости волокон и нитей является замена нитей из фторопласта на бикомпонентные нити, сердцевина которых состоит из дешевого термопластичного волокнообразующего полимера, например полипропилена (ПП), а на поверхности находится слой фторопласта. Известно, что многие бикомпонентные полимерные волокна типа ядро-оболочка получают методом электроформования [10...12]. В частности, авторам работы [13] удалось с помощью коаксиального электроформования получить волокна, ядро которых состоит из поли-(ε-капролактона), а оболочка – из тефлона

АФ, который представляет собой сополимер перфтордиметилдиоксида и тетрафторэтилена. Однако, в отличие от менее химически стойкого тефлона АФ, ПТФЭ, обладающий нулевым дипольным моментом, не пригоден к электроформованию. В связи с низкой адгезионной способностью ПТФЭ невозможно также формирование на поверхности полипропиленовой нити устойчивого покрытия путем нанесения дисперсии ПТФЭ обыкновенной пропиткой или пульверизацией. Неустойчивым к эксплуатационным воздействиям является также и покрытие из фторопласта, нанесенное на синтетические волокнистые материалы методом магнетронного напыления.

В Институте химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук разработан новый способ получения ПП нити с покрытием на основе фторопласта, при реализации которого для обеспечения адгезии фторопласта к ПП использовали нанесение разбавленной суспензии ПТФЭСФ-4Д (ООО «Галополимер», Россия) на поверхность полутвержденной, еще горячей, ПП нити при формовании ее из расплава, на стадии замасливания. За счет ориентационного вытягивания при повышенных температурах нити с нанесенным фторопластом обеспечивались ориентация и перераспределение ПТФЭ, приводящие к формированию ультратонкого, сплошного, равномерного покрытия. Способ защищен двумя патентами РФ (№№ 2522337 и 2522338).

Известно, что степень ориентации макромолекул термопластичного полимера, которая в значительной степени определяет прочностные свойства нити, увеличивается с увеличением кратности вытягивания [14]. При повышении температуры вытягивания снижается взаимодействие между макромолекулами волокнообразующего полимера. В результате появляется возможность получения нитей с более высокой степенью ориентации, совершенной структурой и высокой прочностью. Однако максимальная температура вытягивания лимитируется температурой размягчения нити, при которой ее переработка сильно

затруднена. В связи с этим максимальное значение температуры ориентационного вытягивания стандартной ПП нити составляет 123 – 125 °С. Нанесение на поверхность ПП нити покрытия из ПТФЭ позволяет повысить температуру ориентационного вытягивания модифицированной нити. Экспериментально установлено, что максимально возможная температура вытягивания такой нити приближается к температуре плавления ПП и составляет 155 °С [15, 16].

О влиянии температуры ориентационного вытягивания на прочность нити можно судить по данным, представленным в табл. 1 (разрывная нагрузка и удлинение ПП нити с ПТФЭ покрытием после ориентационного вытягивания [15]).

Т а б л и ц а 1

Максимальная температура ориентационного вытягивания, °С	Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %
Стандартная ПП нить		
125	395 ± 15	34,3 ± 2,8
ПП нить с ПТФЭ покрытием		
135	439 ± 30	46,0 ± 2,2
145	484 ± 16	45,8 ± 3,9
155	630 ± 61	45,4 ± 4,4

Как видно из табл. 1, максимальное повышение прочности (59 %) наблюдается при наиболее высокой температуре ориентационного вытягивания нити (155 °С).

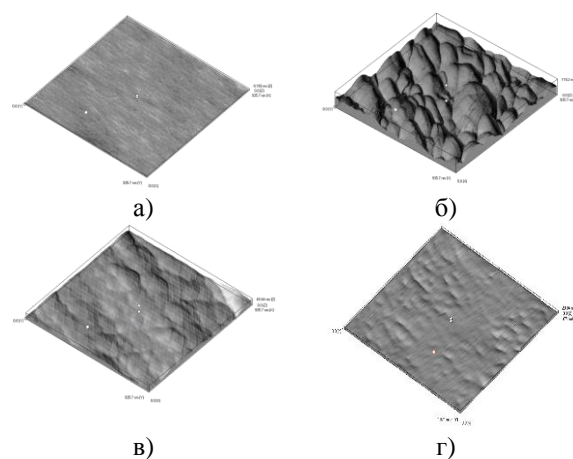


Рис. 1

Данные атомно-силовой микроскопии, представленные на рис. 1 (морфология по-

верхности полипропиленовой пленки: а – исходной; б – неориентированной пленки с фторопластовым покрытием; в – пленки с фторопластовым покрытием, подвергнутой ориентационному вытягиванию при температурах 118-123 °С; г – пленки с фторопластовым покрытием, подвергнутой ориентационному вытягиванию при температурах 120-155 °С. Метод атомно-силовой микроскопии. Область сканирования 1,875 x 1,875 мкм), позволяют оценить изменение морфологии ПП материала с нанесенным фторопластовым покрытием в процессе ориентационного вытягивания [15].

Из рисунка следует, что исходная пленка имеет гладкую поверхность со средним значением шероховатости 9 нм (рис. 1, а). Видно, что фторопластовое покрытие неориентированной пленки носит зернистый характер. Средний диаметр зерен, просматривающихся в структуре покрытия (200...300 нм), соответствует размеру частиц суспензии, заявленному производителем (60...400 нм). Это свидетельствует о том, что уже на стадии нанесения на ПП подложку частицы суспензии фторопласта объединяются в единое целое, образуя сплошное покрытие. Шероховатость неориентированной пленки составляет в среднем 120 нм (рис. 1, б).

Ориентационное вытягивание способствует сглаживанию и выравниванию поверхности покрытия. Уровень шероховатости ориентированной пленки в значительной степени определяется температу-

рой ориентационного вытягивания. Вытягивание при традиционных для получения ориентированной ПП нити температурах 118-125 °С приводит к снижению шероховатости пленки до 50 нм (рис. 1, в). Шероховатость пленки, вытянутой при температурах 120-155 °С, снижается до уровня исходной и составляет 8,8 нм (рис. 1, г). Следует отметить, что сформированное покрытие обладает хорошей устойчивостью к истиранию, что свидетельствует о высокой адгезии ПТФЭ покрытия к ПП подложке [15].

Появление на поверхности ПП нити покрытия, характеризующегося низкой поверхностной энергией, приводит к снижению коэффициента трения с 0,2 до 0,04, т.е. модифицированная нить приобретает значения коэффициента трения, равные коэффициенту трения ПТФЭ.

Химическую стойкость модифицированной нити оценивали по изменению ее разрывной нагрузки после продолжительного воздействия агрессивных жидкостей – концентрированного раствора гидроксида натрия и концентрированной азотной кислоты, являющейся одновременно сильным окислителем. Полученные результаты представлены в табл. 2 (разрывная нагрузка и удлинение ПП нитей с ПТФЭ покрытием после кипячения в растворе гидроксида натрия концентрации 5 моль/л в течение 3 часов и выдерживания в концентрированной азотной кислоте в течение 24 часов при температуре 25 °С).

Т а б л и ц а 2

Максимальная температура ориентационного вытягивания, °С	Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %	После воздействия агрессивных жидкостей	
			Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %
Стандартная ПП нить до и после воздействия гидроксида натрия				
125	395 ± 15	34,3 ± 2,8	365 ± 14	53,1 ± 3,6
Стандартная ПП нить до и после воздействия концентрированной азотной кислоты				
125	395 ± 15	34,3 ± 2,8	290 ± 14	41,2 ± 3,6
ПП нить с ПТФЭ покрытием до и после воздействия гидроксида натрия				
155	630 ± 61	45,4 ± 4,4	596 ± 28	46,1 ± 3,5
ПП нить с ПТФЭ покрытием до и после воздействия конц. азотной кислоты				
155	630 ± 61	45,4 ± 4,4	732 ± 71	35,8 ± 3,7

Данные таблицы свидетельствуют, что прочность стандартной ПП нити под действием концентрированных щелочей и кислот уменьшается на 8...27% соответственно. Воздействие агрессивных жидкостей на ПП нить с ПТФЭ покрытием не приводит к потере ее прочности. Отсутствие потери прочности модифицированной ПП нити свидетельствует о том, что ПТФЭ покрытие, защищающее ее поверхность, является сплошным и его структура не имеет дефектов.

Исследование выносливости ПП нити с ПТФЭ покрытием к истиранию показало, что такая нить обладает высокой устойчивостью к эксплуатационным воздействиям [15].

Таким образом, установлено, что ПП нить с устойчивым ПТФЭ покрытием обладает чрезвычайно высокой химической стойкостью, низким коэффициентом трения, отличается высокой прочностью. Кроме того, она значительно дешевле нитей, полностью состоящих из фторполимеров [15, 16]. Однако такая нить сильно электризуется в процессе эксплуатации.

Для снижения электризуемости нити в структуру покрытия вводили небольшое количество металлосодержащих наночастиц, которые, как известно, позволяют регулировать многие свойства волокнистых материалов [17...19]. В настоящей работе были использованы наночастицы магнетита, которые не только снижают поверхностное электрическое сопротивление ПТФЭ покрытия, но и характеризуются высокой антибактериальной активностью

[20-24]. Наночастицы магнетита были синтезированы в соответствии с методикой, описанной в [25].

Предварительными исследованиями было показано, что высокая прочность ПП нити с ПТФЭ покрытием, а также равномерность и бездефектность покрытия сохраняется лишь при отсутствии в его структуре крупных включений [25, 26]. Т.к. неотъемлемым свойством наночастиц является склонность к образованию ассоциатов, в целях снижения интенсивности процесса ассоциации наночастиц магнетита их использовали в стабилизированной форме. Поскольку процесс ориентационного вытягивания нити осуществляется при повышенных температурах, в качестве стабилизатора было выбрано термостойкое поверхностно-активное вещество – стеарат натрия. Для дополнительного уменьшения размеров образующихся ассоциатов наночастиц их подвергали ультразвуковому воздействию на стадии синтеза. Перед формированием покрытия на ПП нити композицию на основе ПТФЭ с введенным в нее магнетитом обрабатывали ультразвуком повторно.

Об изменении поверхностного электрического сопротивления ПП нити с ПТФЭ покрытием после введения в него наночастиц магнетита можно судить по данным, представленным в табл. 3 (поверхностное электрическое сопротивление ПП нитей с покрытием на основе ПТФЭ, содержащим наночастицы магнетита).

Т а б л и ц а 3

Состав композиции, %			Поверхностное электрическое сопротивление, Ом
ПТФЭ	Магнетит	Стеарат натрия	
Стандартная ПП нить			
0	0	0	$4,5 \cdot 10^{14}$
ПП нить с ПТФЭ покрытием			
10,0	0	0	превышает область измерений прибора
ПП нить с покрытием, сформированным обработанной УЗ композицией на основе ПТФЭ и стабилизированного стеаратом натрия магнетита			
10,0	1,0	1,0	$5,7 \cdot 10^8$

Из таблицы следует, что введение наночастиц магнетита в ПТФЭ покрытие способствует значительному снижению поверхностного электрического сопротивления нити.

Оценивалась также способность ПП нитей с покрытием на основе ПТФЭ, содержащим наночастицы магнетита, подавлять жизнедеятельность патогенных мик-

роорганизмов. Стабилизированные частицы магнетита внедрены в структуру покрытия и не могут диффундировать наружу. В связи с этим антимикробные свойства нитей с покрытиями оценивали счетным методом, который обычно применяется для оценки биоцидных свойств немигрирующих препаратов [27, 28]. Для ускорения определения количества колоний микроорганизмов использовали нефелометрический способ [29]. Подробно методика эксперимента описана в работе [30]. Снижение микробного обсеменения тест-

объектов по отношению к аналогичному показателю контрольного тест-объекта (физиологического раствора) оценивали в баллах. Результаты оценки микробиологической активности ПП нити с ПТФЭ покрытием, содержащим частицы магнетита, по отношению к тестовым *грам*-положительным, *грам*-отрицательным бактериям и микрогрибам приведены в табл. 4 (антимикробные свойства ПП нити с ПТФЭ покрытием, содержащим стабилизированные наночастицы магнетита) [26].

Т а б л и ц а 4

Вид ПП нити	Ингибирование жизнедеятельности патогенных микроорганизмов, балл./ %		
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Candida albicans</i>
Стандартная ПП нить	2 / 39	2 / 46	2 / 41
ПП нить с ПТФЭ покрытием	3 / 90	3 / 93	3 / 90
ПП нить с ПТФЭ покрытием, содержащим 1,0 % стабилизированного магнетита	5 / 99	4 / 97	4 / 94

Из таблицы следует, что в присутствии нитей с покрытиями происходит значительное снижение количества колоний патогенных бактерий, то есть нити с ПТФЭ покрытием, содержащим частицы магнетита, обладают отличным антибактериальным эффектом относительно *грам*-отрицательных бактерий *Escherichia coli* и хорошим эффектом относительно *грам*-положительных бактерий *Staphylococcus aureus*. На жизнедеятельность микрогрибов *Candida albicans* эта нить оказывает удовлетворительное ингибирующее воздействие. Следует отметить, что антимикробное действие модифицированной нити проявляется при непосредственном ее контакте с микроорганизмами, т.е. ПП воло-

кнастые материалы с ПТФЭ покрытием, содержащим стабилизированные частицы магнетита, обладают барьерными антимикробными свойствами.

О влиянии введения в структуру ПТФЭ покрытия наночастиц магнетита на хемостойкость ПП нитей с покрытием судили на основании данных, представленных в табл. 5 (разрывная нагрузка и удлинение ПП нитей с ПТФЭ покрытием, содержащим стабилизированный магнетит, после кипячения в растворе гидроксида натрия концентрации 5 моль/л в течение 3 ч и выдерживания в концентрированной азотной кислоте в течение 24 ч при температуре 25°C).

Т а б л и ц а 5

Без обработки		После кипячения в растворе NaOH (конц.)		После выдерживания в HNO <sub>3</sub> (конц.)	
Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %	Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %	Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %
Стандартная ПП нить					
583 ± 23	33,6 ± 3,7	539 ± 21	52,0 ± 4,8	428 ± 22	40,4 ± 4,1
ПП нить с ПТФЭ покрытием					
643 ± 16	38,6 ± 2,7	728 ± 19	44,9 ± 3,3	748 ± 19	27,0 ± 2,9
ПП нить с покрытием, сформированным обработанной УЗ композицией на основе ПТФЭ и стабилизированного стеаратом натрия магнетита					
658 ± 23	32,0 ± 1,7	720 ± 17	45,2 ± 3,1	761 ± 25	24,3 ± 1,7

Как видно из таблицы, химическая стойкость ПП нитей с ПТФЭ покрытием, содержащим стабилизированный магнетит, не уступает химической стойкости ПП нитей с ПТФЭ покрытием. Таким образом, ПП нить с покрытием на основе ПТФЭ после введения в структуру покрытия магнетита сохраняет экстремально высокую химическую стойкость. Кроме того, в работе [31] показано, что такое изменение структуры не оказывает отрицательного влияния на адгезию ПТФЭ покрытия к ПП подложке.

## ВЫВОДЫ

Предложен оригинальный метод формирования на ПП нити устойчивого к эксплуатационным воздействиям покрытия, обеспечивающего придание нити комплекса новых эксплуатационных характеристик. Наличие в составе покрытия ПТФЭ обеспечивает возможность реализации ориентационного вытягивания при температурах, превышающих стандартные, что приводит к значительному повышению прочности нитей. Введение в покрытие наноразмерных частиц магнетита, обладающих биологической активностью и проводимостью, обеспечивает придание нити барьерных антимикробных свойств и пониженного поверхностного электрического сопротивления. Нить с покрытием на основе ПТФЭ, содержащим стабилизированные наночастицы магнетита, проявляет также экстремально высокую химическую стойкость, подобную химической стойкости фторполимерных нитей.

Все перечисленные свойства нити с покрытием на основе ПТФЭ, содержащим стабилизированные наночастицы магнетита, делают ее пригодной для изготовления интерьерных материалов, которые можно эксплуатировать в салонах транспорта, а также в местах большого скопления детей, людей с ослабленным иммунитетом, с проблемами физического развития, престарелых – в детских садах, интернатах, больницах, домах престарелых.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Moncrieff R.W.* Man-Made Fibres. N.-Y.: John Wiley and Sons, Inc, 1975. 1086 p.

2. *Сигал М.Г., Козиорова Т.Н.* Синтетические волокна из дисперсий полимеров. М.: Химия, 1972.

3. *Лазар М., Радо Р., Климан Н.* Фторопласты; перевод со словац. Г.М. Гольдберга / под ред. С.А. Яманова. М.-Л.: Энергия, 1965.

4. *Роговин З.А.* Основы химии и технологии химических волокон. Т.2. М.: Химия, 1974.

5. *Варшавский В.Я.* Волокна из фторсодержащих полимеров // Карбоцепные синтетические волокна / под ред. К.Е. Перепелкина. М.-Л.: Химия, 1972.

6. *Козлов В.А., Филатов Ю.Н., Наумова Ю.А.* Исследование процесса электроформования смесей фторполимеров и свойств получаемых материалов // Вестник МИТХТ. 2011. Т. 6. № 1. С. 22...25.

7. *Бузник В.М.* Сверхгидрофобные материалы на основе фторполимеров // Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 29...34

8. *McGee R.L., Collier J.R.* Solid State Extrusion of Polytetrafluoroethylene Fibers // Polymer Eng.&Sci. 1986, 26. P. 239...242.

9. <http://www.formoplast-spb.ru/volokna-f4/>

10. *Sun Z., Zussman E., Yarin A.L., Wendorff J.H., Greiner A.* Compound Core – Shell Polymer Nanofibers by Co-electrospinning // Adv. Mater. 2003, 15. P. 1929...1932.

11. *Zhang Y., Huang Z.-M., Xu X., Lim C.T., Ramakrishna S.* Preparation of Core – Shell Structured PCL-r-Gelatin Bi-component Nanofibers by Coaxial Electrospinning // Chem Mater. 2004, 16. P. 3406...3409.

12. *Sun B., Duan B., Yuan X.Y.* Preparation of Core/Shell PVP/PLA Ultrafine Fibers by Coaxial Electrospinning // J. Appl. Polym. Sci. 2006, 102. P. 39...45.

13. *Han D., Steckl A.J.* Superhydrophobic and Oleophobic Fibers by Coaxial Electrospinning // Langmuir. 2009, 25. P. 9454...9462.

14. *Завадский А.Е., Вавилова С.Ю., Пророкова Н.П.* Особенности ориентационных процессов в кристаллических и аморфных областях полипропилена при формировании нитей // Химические волокна. 2017. №1. С. 11...15.

15. *Prorokova N.P., Vavilova S.Y., Bouzник V.M.* A novel technique for coating polypropylene yarns with polytetrafluoroethylene // Journal of Fluorine Chemistry. 2017. 204. P. 50 ... 58.

16. *Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю.* Объемное и поверхностное модифицирование полипропиленовых нитей на стадии их формирования из расплава // Химические волокна. 2018. №3. С. 89...93.

17. *Киселев А.М., Румянцев Е.В., Одинцова О.И., Румянцева В.Е.* Современные технологии получения текстильных материалов со специальными свойствами и области их применения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №2. С.121...133.

18. *Dastjerdi R., Montazer M.* A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial prop-

erties // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2010, 79. P. 5...18.

19. *Ayatullah Hosne Asif A.K.M., Zayedul Hasan Md.* Application of Nanotechnology in Modern Textiles: A Review // *Int. J. Curr. Eng. Technol.* 2018, 8. P. 227...231.

20. *Sedithi A., Montazer M., Mazinani S.* Fabrication of electrically conductive superparamagnetic fabric with microwave attenuation, antibacterial properties and UV protection using PEDOT/magnetite nanoparticles // *Materials and Design.* 2018, 160. P. 34...47.

21. *Spulber R., Chifiriuc C., Fleancu M., Popa O., Babeanu N.* Antibacterial activity of magnetite nanoparticles coated with bee pollen extracts // *Agriculture for Life for Agriculture* Conference Proceedings. 2018, 1 (1). P. 579...585.

22. *Armijo L.M., Wawrzyniec S.J., Kopciuch M., Brandt Y.I., Rivera A.C., N.J., Cook N.C., Dale L., Huber D.L., Monson T.C., Smyth H.D.C., Osinski M.* Antibacterial activity of iron oxide, iron nitride, and tobramycin conjugated nanoparticles against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms // *J Nanobiotechnol.* 2020, 18. – 35.

23. *Ketema A., Worku A.* Antibacterial Finishing of Cotton Fabric Using Stinging Nettle (*Urticadioica L.*) Plant Leaf Extract // *Hindawi J. Chem.* 2020. ID 4049273.

24. *Xu C., Akakuru O.U., Zheng J., Wu A.* Applications of Iron Oxide-Based Magnetic Nanoparticles in the Diagnosis and Treatment of Bacterial Infections // *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2019, 7. 141.

25. *Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Бузник В.М.* Механические характеристики полученной по новой технологии полипропиленовой нити с покрытием на основе политетрафторэтилена // *Химическая технология.* 2020, 21. С. 409...417.

26. *Prorokova N.P., Vavilova S.Y.* Properties of polypropylene yarns with a polytetrafluoroethylene coating containing stabilized magnetite particles // *Coatings.* 2021, 11. 830.

27. *Ibrahim A., Laquerre J.-É., Forcier P., Deregnaucourt V., Decaens J., Vermeersch O.* Antimicrobial Agents for Textiles: Types, Mechanisms and Analysis Standards. In *Textiles for Functional Applications*; Kumar, B., Ed.; IntechOpen, 2021.

28. *Pinho E., Magalhães L., Henriques M., Oliveira R.* Antimicrobial activity assessment of textiles: standard methods comparison. *Ann. Microbiol.* 2011, 61. P. 493...498.

29. *Кузнецов О.Ю., Шутова Т.А., Старшова А.В., Наваррская И.А., Головлев М.Г.* Методика оценки антимикробного действия волоконистых материалов при скрининговых исследованиях // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* 2021. №3. С. 71...74.

30. *Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Бирюкова М.И., Юрков Г.Ю., Бузник В.М.* Модифицирование полипропиленовых нитей с использованием наноразмерных металлсодержащих частиц, иммобилизованных в полиэтиленовой матрице // *Российские нанотехнологии.* 2014. № 9. С. 21...27.

31. *Вавилова С.Ю., Пророкова Н.П., Холодков И.В., Кумеева Т.Ю.* Покрытие на основе политетрафторэтилена, содержащее магнетит, сформированное на полипропиленовой нити: устойчивость к адгезионному разрушению // *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки.* 2022. № 2. С. 29...35.

## REFERENCES

1. *Moncrieff R.W.* Man-Made Fibres. - N.-Y.: John Wiley and Sons, Inc, 1975. 1086 p.

2. *Sigal M.G., Koziorova T.N.* Синтетические волокна из дисперсии полимеров. М.: *Chimia*, 1972. 144 s.

3. *Lazar M., Rado R., Kliman N.* Ftoroplasti / per. so slovatskogo / pod red. S.A.Iamanova. V.-L.: *Energia*, 1965. 262 s.

4. *Rogovin Z.A.* Osnovi chemii i tehnologii chemicheskikh volokon. T. 2. М.: *Chimia*, 1974. – 344 s.

5. *Varshavskii V.I.* Volokna iz ftorsoderjaschih polymerov // *Karbotsepnie sinteticheskies volokna / pod red. K.E. Perepelkina.* М.-L.: *Chimia*, 1972. 589.

6. *Kozlov V.A., Filatov Yu.N., Naumova Yu.A.* Issledovanie protsessa electroformovania ftorpolymerov i svoistv polutshaemich materialov // *Vestnik MITHT.* 2011. T. 6, N1. S. 22...25.

7. *Бузник В.М.* Sverchgidrophobnie materialy na osnove ftorpolymerov // *Aviatsionnie materialy i tehnologii.* 2013, 1. S. 29...34.

8. *Mc Gee R.L., Collier J.R.* Solid State Extrusion of Polytetrafluoroethylene Fibers // *Polymer Eng. & Sci.* 1986, 26. P. 239...242.

9. <http://www.formoplast-spb.ru/volokna-f4/>

10. *Sun Z., Zussman E., Yarin A.L., Wendorff J.H., Greiner A.* Compound Core – Shell Polymer Nanofibers by Co-electrospinning // *Adv. Mater.* 2003, 15. P. 1929...1932.

11. *Zhang Y., Huang Z.-M., Xu X., Lim C.T., Ramakrishna S.* Preparation of Core – Shell Structured PCL-r-Gelatin Bi-component Nanofibers by Coaxial Electrospinning // *Chem Mater.* 2004, 16. P. 3406...3409.

12. *Sun B., Duan B., Yuan X.Y.* Preparation of Core/Shell PVP/PLA Ultrafine Fibers by Coaxial Electrospinning // *J. Appl. Polym. Sci.* 2006, 102. P. 39...45.

13. *Han D., Steckl A.J.* Superhydrophobic and Oleophobic Fibers by Coaxial Electrospinning // *Langmuir.* 2009, 25. P. 9454...9462.

14. *Zavadskii A.E., Vavilova S.Y., Prorokova N.P.* Orientation processes in crystalline and amorphous regions of polypropylene during yarn spinning // *Fibre Chem.* 2017, 49. P. 10...14.

15. *Prorokova N.P., Vavilova S.Y., Bouzник V.M.* A novel technique for coating polypropylene yarns with polytetrafluoroethylene // *Journal of Fluorine Chemistry.* 2017, 204. P. 50 ... 58.

16. *Prorokova N.P., Vavilova S.Y.* Bulk and surface modification of polypropylene filaments at the



stage of their formation from a melt // *Fibre Chem.* – 2018, 50. P. 233...238.

17. *Kiselev A.M., Rumiantsev E.V., Odintsova O.I., Rumiantseva V.E.* Sovremennye tehnologii polucheniya tekstilnih materialov so spetsialnymi svoistvami i oblasti ih primeneniya // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022, 2. P. 121 ... 133.

18. *Dastjerdi R., Montazer M.* A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* – 2010, 79. P. 5...18.

19. *Ayatullah Hosne Asif A.K.M., Zayedul Hasan Md.* Application of Nanotechnology in Modern Textiles: A Review // *Int. J. Curr. Eng. Technol.* 2018, 8. P. 227...231

20. *Sedithi A., Montazer M., Mazinani S.* Fabrication of electrically conductive superparamagnetic fabric with microwave attenuation, antibacterial properties and UV protection using PEDOT/magnetite nanoparticles // *Materials and Design.* 2018, 160. P. 34...47.

21. *Spulber R, Chifiriuc C., Fleancu M., Popa O., Babeanu N.* Antibacterial activity of magnetite nanoparticles coated with bee pollen extracts // *Agriculture for Life for Agriculture* Conference Proceedings. 2018, 1 (1). P. 579...585.

22. *Armijo L.M., Wawrzyniec S.J., Kopciuch M., Brandt Y.I., Rivera A.C., N.J., Cook N.C., Dale L., Huber D.L., Monson T.C., Smyth H.D.C., Osinski M.* Antibacterial activity of iron oxide, iron nitride, and tobramycin conjugated nanoparticles against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms // *J Nanobiotechnol.* 2020, 18. – 35

23. *Ketema A., Worku A.* Antibacterial Finishing of Cotton Fabric Using Stinging Nettle (*Urticadioica L.*) Plant Leaf Extract // *Hindawi J. Chem.* 2020. ID 4049273.

24. *Xu C., Akakuru O.U., Zheng J., Wu A.* Applications of Iron Oxide-Based Magnetic Nanoparticles in the Diagnosis and Treatment of Bacterial Infections // *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2019, 7. 141.

25. *Prorokova N.P., Vavilova S.Y., Bouznic V.M.* Mechanical characteristics of a polypropylene yarn

with a polytetrafluoroethylene-based coating obtained through a new technology // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering.* 2021, 55. P. 1021...1027.

26. *Prorokova N.P., Vavilova S.Y.* Properties of polypropylene yarns with a polytetrafluoroethylene coating containing stabilized magnetite particles // *Coatings.* 2021, 11. 830.

27. *Ibrahim A., Laquerre J.-É., Forcier P., Deregnaucourt V., Decaens J., Vermeersch O.* Antimicrobial Agents for Textiles: Types, Mechanisms and Analysis Standards. In *Textiles for Functional Applications;* Kumar, B., Ed.; IntechOpen, 2021.

28. *Pinho E., Magalhães L., Henriques M., Oliveira R.* Antimicrobial activity assessment of textiles: standard methods comparison. *Ann. Microbiol.* 2011, 61. P. 493...498.

29. *Kuznetsov O.Yu., Shutova T.A., Starshova A.V., Navarrskaia I.A., Golovlev I.G.* Metodika otsenki antimikrobnogo deistvia voloknistih materialov pri skrinigovoi otsenke // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2021, 3. P. 71 ... 74.

30. *Prorokova N.P., Vavilova S.Yu., Biryukova M.I., Yurkov G.Yu., Buznik V.M.* Modification of polypropylene filaments with metal containing nanoparticles immobilized in a polyethylene matrix // *Nanotechnol. Russ.* 2014, 9. P. 533...540.

31. *Vavilova S.Y., Prorokova N.P., Kholodkov I.V., Kumeeva T.Y.* Pochitnie na osnove politetraforetilena, soderdjaschee magnetit, sformirovannoe na polipropilenoivoi niti: ustoichivost k adgezionnomu razrusheniu // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta tehnologii i dizaina. Seria 1. Estestvennie i tehnicheskie nauki.* 2022, 2. S. 29...35.

Рекомендована организационным комитетом IV Международного научно-практического симпозиума «Технический текстиль России: нетканые материалы, сырье, реинжиниринг». Поступила 07.03.23.