

Научная статья

УДК 66.017

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-3-14

ТЕРМОСТОЙКИЕ ВОЛОКНА И НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (обзор)

Е.П. Образцова¹, Ю.М. Титкова¹, И.Н. Донских¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Представлен обзор термостойких волокон и нетканых материалов на их основе. Приведены их сравнительные характеристики, описание, преимущества и недостатки для применения в качестве основы в составе воздушных фильтров регуляторов форсажных режимов газотурбинных двигателей. Сделан вывод о возможности использования нетканых материалов и перспективах их применения, а также о возможном способе улучшения характеристик нетканых основ для адаптации к условиям эксплуатации при повышенных и пониженных температурах.

Ключевые слова: термостойкие волокна, фильтрующие материалы, иглопробивные нетканые материалы, поверхностная плотность, температура эксплуатации, прочностные характеристики, водопоглощение

Для цитирования: Образцова Е.П., Титкова Ю.М., Донских И.Н. Термостойкие волокна и нетканые материалы на их основе для применения в фильтрующих элементах газотурбинных двигателей (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 3 (109). Ст. 01. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-3-14.

Scientific article

HEAT-RESISTANT FIBERS AND NON-WOVEN MATERIALS BASED ON THEM FOR USE IN FILTER ELEMENTS OF GAS TURBINE ENGINES (review)

E.P. Obraztcova¹, Yu.M. Titkova¹, I.N. Donskikh¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. Presented an overview of heat-resistant fibers and nonwovens based on them. Their comparative characteristics, description, advantages and disadvantages for use as a basis for the use of afterburner regulators of gas turbine engines as part of air filters. The conclusion is made about the possibility of using nonwovens and the prospects for their application, as well as about a possible way to improve the characteristics of nonwovens to adapt to operating conditions at elevated and lowered temperatures.

Keywords: heat-resistant fibers, filter materials, needle-punched nonwovens, surface density, operating temperature, strength characteristics, water absorption

For citation: Obraztsova E.P., Titkova Y.M., Donskikh I.N. Heat-resistant fibers and non-woven materials based on them for use in filter elements of gas turbine engines (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 3 (109), paper no. 01. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-3-14.

Введение

В рамках реализации комплексного научного направления 16. «Сверхлегкие пеноматериалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») проводится ряд работ по разработке полимерных композиционных материалов [1]. Среди приоритетных стратегических направлений развития материалов и технологий этой задаче отведена существенная роль [2, 3]. Полимерные композиционные материалы включают в себя целый ряд материалов: стекло- и углепластики, материалы волокнистые и с полимерным покрытием, а также с дискретно распределенным наполнителем и др. Свойства разрабатываемых полимерных композиционных материалов определяются их назначением и структурным составом [4–6].

Материалы, применяемые в составе воздушных фильтров регуляторов форсажных режимов газотурбинных двигателей (ГТД), должны обладать способностью задерживать мелкие частицы из атмосферного воздуха и предотвращать попадание пыли. Такие материалы также должны быть влагостойкими и иметь достаточный диапазон рабочих температур для эксплуатации в составе авиационной техники. Для этих целей зачастую используют нетканые материалы.

В настоящее время технология производства нетканых материалов преимущественно осуществляется тремя способами: механическим, физико-химическим или комбинированным.

Механическая технология изготовления нетканых материалов основывается на иглопробивном, вязально-прошивном и валяльно-войлочном способах [7]. Пропитка связующим, термоскрепление, фильерный, струйный и бумагоделательный способы можно отнести к физико-химической технологии производства нетканых материалов. Комбинированная технология позволяет сочетать преимущества вышеперечисленных технологий для получения наилучшего результата при разработке конкретных материалов [8].

Для фильтрации воздуха в высокотемпературных зонах широкое применение получили иглопробивные нетканые материалы благодаря своей прочности, сочетающейся с гибкостью, а также возможности изготовления материалов заданной плотности и толщины, которые характеризуются отличными фильтрующими свойствами благодаря сетчатой волокнистой структуре.

Основным и главным требованием к фильтрующим материалам, в том числе используемым в системе воздухоочистки регуляторов форсажных режимов ГТД, является возможность эксплуатации при температурах до 150 °С и более, а также при пониженной температуре – до –60 °С. Поэтому в качестве основы наиболее подходящими являются термостойкие нетканые материалы, содержащие однотипные высокотемпературные волокна либо различные варианты смеси волокон, выдерживающие перепады температур достаточно длительное время с сохранением функциональных свойств, без потери массы, прочности и других показателей [9].

Термостойкими принято считать волокна, сохраняющие работоспособность в процессе длительной эксплуатации при температурах 200–250 °С, а для некоторых разновидностей – до 300–350 °С и более. К термостойким преимущественно относятся волокна из карбо- или гетероциклических полимеров [10].

Применяемые волокна и материалы

Основные свойства термостойких волокон приведены в табл. 1 [10].

Формование полимерных синтетических волокон, необходимых для производства термостойких нетканых полотен, осуществляется разными способами,

такими как: из раствора «мокрым» или «сухим» способами, а также из расплава или размягченного полимера [11]. Способ формования конкретного полимера напрямую зависит от химического строения и исходных свойств сырья [12].

Таблица 1

Основные свойства термостойких волокон

Волокна	Объемная плотность, г/см ³	Прочность, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Влажность при нормальных условиях, %	Температура эксплуатации (предельная), °С
Метаарамидные	1,37–1,38	40–50	15–30	4–5	>380
Полиамидоимидные	1,34–1,35	35–60	10–25	3–3,5	250–300
Полиимидные	1,41–1,45	40–45	15–20	–	270–360
Полибензимидазольные	1,40–1,41	30–40	10–20	10–15	300–320
Полиоксадиазольные	1,42–1,44	25–40	6–10	6–10	250–300
Дегидрированные полиакрилонитрильные	1,37–1,4	20–25	15–22	–	300–350

К основным синтетическим полимерным волокнам, разработанным в середине XX века, можно отнести фенилон, терлон, арамид, волокно Лола.

На основе этих волокон в советский период во Всесоюзном институте авиационных материалов (ВИАМ) был разработан ассортимент нетканых материалов, изготовленных иглопробивным способом:

- АТМ-15 – на основе смеси ароматического полиимида, фенилона и терлона;
- АТМ-15ПК, являющийся модификацией материала АТМ-15 с улучшенными водоотталкивающими свойствами [13];
- АТМ-16 и АТМ-19 на основе волокон арамид (полиимидное волокно) и Лола (волокно на основе лестничных и полулестничных полимеров) [14].

Основные свойства этих материалов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства нетканых материалов разработки ВИАМ

Характеристика	Значения характеристик материалов			
	АТМ-15	АТМ-15ПК	АТМ-16	АТМ-19
Толщина, мм	5,3±0,2	4±0,1	5,2±0,5	6–20
Поверхностная плотность, г/м ²	610±15	–	600±30	3000±30 (при толщине 20 мм)
Диапазон рабочих температур, °С	От –130 до +300	От –130 до +300	От –130 до +400	От –130 до +430
Разрывная нагрузка, Н:				
по длине	250	–	120	–
по ширине	300	–	200	–
Влагопоглощение, %, при влажности φ = 65 %	6,0	6,0	6,0	6,0
Предел прочности при отрыве, МПа	0,25	–	0,23	0,28

Наиболее распространенными волокнами для производства нетканых материалов, в том числе фильтровального назначения, применение которых рассчитано на диапазон высоких рабочих температур, можно считать класс ароматических полиамидов, в частности арамидные волокна.

Арамидные волокна – это волокна, полученные на основе линейных волокнуобразующих полиамидов и относящиеся к классу ароматических полиамидных волокон, состоящие из бензольных колец, соединенных друг с другом через –NH–CO– группу прочными химическими связями. Прядение осуществляется из растворов в сильных кислотах по «сухо-мокрому» способу [15]. Арамидные волокна обладают устойчивостью к пламени, органическим растворителям, нефтепродуктам, различным минеральным маслам. Такие волокна делятся на метаарамидные, отличающиеся высотой термостойкостью, и параарамидные, обладающие высокими прочностными показателями [16].

В настоящее время в России параарамидные волокна и/или нетканые материалы на их основе производят в АО «Каменскволокно» (г. Каменс-Шахтинский), ООО НПП «Термотекс» (г. Мытищи), ООО «Лирсот» (г. Мытищи) и ООО «НПФ «Авикс» (г. Мытищи).

К зарубежным производителям пара- и метаарамидных волокон и/или нетканых материалов на их основе относятся Teijin Ltd (Япония), Kolon Industries Inc. (Южная Корея), DuPont (США), Teijin Twaron (Нидерланды), Kermel (Франция), ОАО «СветлогорскХимволокно» (Республика Беларусь) и др. [17].

Сравнительные характеристики некоторых выпускаемых пара- и метаарамидных волокон импортного и российского производства представлены в табл. 3 [18].

Таблица 3

Сравнительные характеристики пара- и метаарамидных волокон импортного и российского производства

Волокно (производитель)	Объемная плотность, г/см ³	Предел прочности при растяжении, МПа	Удлинение при разрыве, %	Температура разложения в кислороде, °С	Влагопоглощение, %
Параарамидное волокно					
Кевлар-149 (DuPont, США)	1,47	3450	1,5–2,0	500	–
Twaron (Teijin Aramid B.V., Нидерланды)	1,44–1,45	2700–3600	2,3–4,2	500	2–7
Негасрон HF300 (Kolon Industries Inc., Южная Корея)	1,44	2740–2930	2,5–3,4	–	–
Руслан (АО «Каменскволокно», Россия)	1,44–1,45	4500–5200	2,4–4,4	>500	<4,0
Русар (ООО НПП «Термотекс», Россия)	1,44–1,45	5000–6000	2,4–4,4	>500	<4,0
Армос (ООО «Лирсот», Россия)	1,44–1,45	3600–4000	2,4–4,4	>500	<4,0
Метаарамидное волокно					
Kermel (Kermel, Франция)	1,34	550–650	18–19	>380	4,0
Newstar (Yantai Tayho, Китай)	1,37–1,38	–	15–30	400–420	4,0–5,0
Nomex 430 (DuPont, США)	1,38	595–630	30–31	>400	4,5

Как видно из данных табл. 3, свойства параарамидных волокон российского производства соответствуют по уровню свойствам зарубежных аналогов, а в некоторых случаях превосходят их по прочности.

Многие мировые производители выпускают арамидные волокна и нити для создания высокопрочных материалов с отличными эксплуатационными свойствами для негорючей одежды летчиков; термозащиты спасателей, пожарных и металлургов; для огнезащитной обивки салонов авиационной, наземной, морской техники и т. д. Для фильтрации горячих газов, очистки от пыли и загрязняющих веществ выпускаются нетканые материалы и ткани из арамидных волокон, получившие широкое распространение по всему миру.

В настоящее время в России выпуск метаарамидных волокон отсутствует, поэтому нетканые материалы на их основе также не производятся. Это привело к поиску материалов с сопоставимыми свойствами, имеющихся на российском рынке, сравнению их между собой и с аналогами, выпускаемыми за рубежом, с целью выбора наиболее оптимального состава для использования в высокотемпературных областях авиационной техники – в частности, для воздухофильтрующих элементов ГТД.

Полиамидоимидные волокна получают поликонденсацией ароматических поликарбоновых кислот и диаминов, диизоцианатов или дигидразидов из сополимеров, сочетающих свойства двух классов – ароматических полиамидов и полиимидов, полученных «сухим» или «мокрым» способами [19].

Общая формула полиамидоимидов представлена на рис. 1.

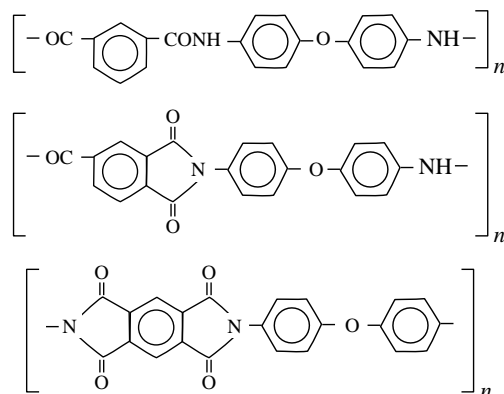


Рис. 1. Общая формула полиамидоимидов

Способы получения полиамидоимидов, в том числе волокон, описаны в работе [20]. Главным достоинством таких волокон является их огнестойкость, они негорючие и не обугливаются при воздействии открытого пламени, а также выделяют совсем небольшое количество дыма. Термостойкость данных волокон в большой степени зависит от их химического строения.

Полиамидоимидные волокна выпускает фирма Rhone Poulenc (Франция) под маркой Кермел, свойства некоторых из них представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительные характеристики полиамидоимидных волокон фирмы Rhone Poulenc (Франция) марки Кермел

Волокно	Объемная плотность, г/см ³	Прочность при растяжении, г/текс, при 260 °С	Относительное удлинение при разрыве, %	Влагопоглощение, %
Кермел 201	1,39	25	8–10	2,1
Кермел 203	1,39	18	12	2,2
Кермел 231	1,34	15	16–20	3,4

Фирма Тејјин (Япония) также промышленно выпускает полиамидоимидное волокно.

Полиамидоимидные волокна и нетканые материалы на их основе находят применение в фильтрующих элементах горячих газов, для изготовления защитной одежды спасателей, пожарных, металлургов и др.

Полиимидные волокна получают переработкой полиимида в полиамидокислотной форме «сухим» или «мокрым» формованием в воду [20]. Полиимиды по способу получения и строению разделяют на следующие группы [21]:

– с алифатическими звеньями в основной цепи, получаемые путем термической поликонденсации при нагревании солей ароматических тетракарбоновых кислот и алифатических диаминов (рис. 2);

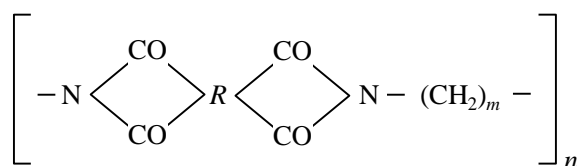


Рис. 2. Общая формула полиимидов с алифатическими звеньями в основной цепи

– с ароматическими звеньями в основной цепи, которые синтезируют методом двухстадийной поликонденсации (рис. 3).

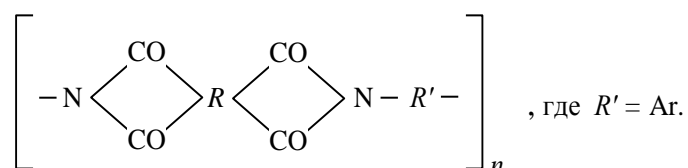


Рис. 3. Общая формула полиимидов с ароматическими звеньями в основной цепи

Полиимидные волокна получают двухстадийным методом (рис. 4): сначала вырабатывают форполимер в виде полиаминокислоты, которая в готовом изделии в результате реакции внутримолекулярной полициклизации превращается в полиимид [19].

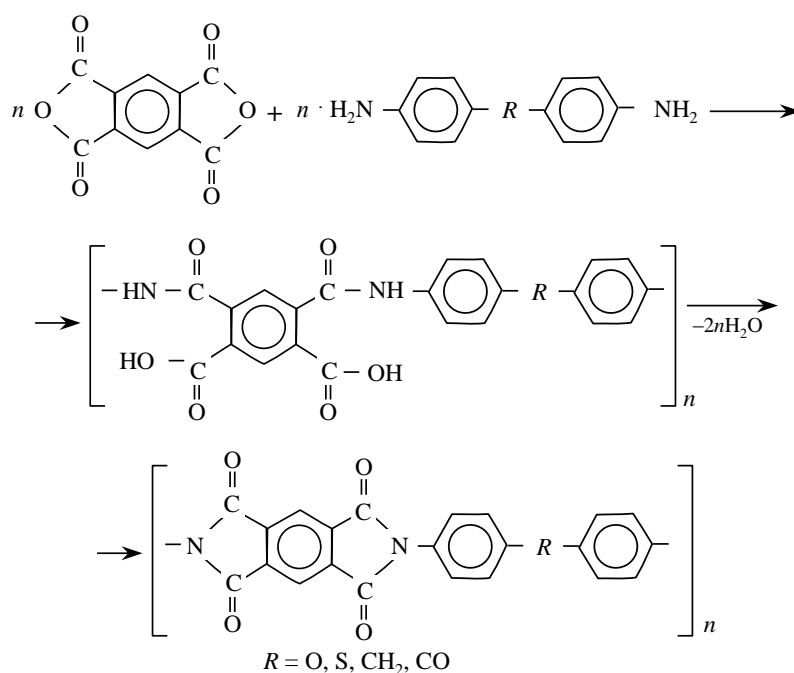


Рис. 4. Двухстадийный метод получения полиимидного волокна

Полиимидные волокна, помимо высокой термостойкости, негорючие, не набухают и не растворяются в органических растворителях, устойчивы к действию разбавленных кислот, но разрушаются в концентрированных кислотах [22].

Волокна, нити и нетканые материалы на основе полиимидных волокон в России выпускает компания ООО «Лирсот» [23]. У компании представлен широкий ассортимент одежды, рассчитанной на работу при высоких температурах.

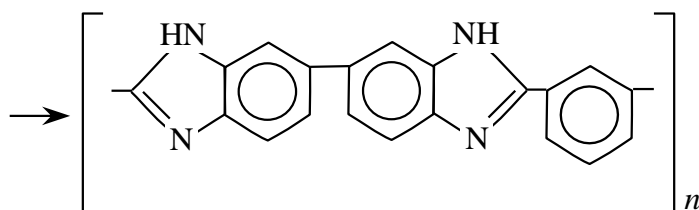


Рис. 5. Общая формула полибензимидазолов

Полибензимидазольное волокно обладает хорошей термостойкостью, а также негорючестью на воздухе и может использоваться до температуры 450 °С. Однако наличие NH-групп в бензимидазольном цикле делает полимер чувствительным к окислению при повышенных температурах.

Полибензимидазольные штапельные волокна выпускают под маркой РВИ (США), из которых изготавливают защитную одежду для астронавтов и пожарных. Ткани на основе нитей РВИ являются подходящими фильтровальными материалами горячих газов [24].

В табл. 5 приведены некоторые свойства волокон марки РВИ.

Таблица 5

Основные свойства волокон марки РВИ

Свойства	Значения свойств
Объемная плотность, г/см ³	1,3
Рабочая температура, °С	260–400
Предел прочности при разрыве, МПа	160
Удлинение при разрыве, %	3

Полиамидобензимидазольные волокна состоят из макромолекул с бензимидазольными циклами и амидными группами [19].

Полиоксадиазольные волокна вырабатывают на основе полиоксадиазолов – линейных полимеров, получаемых реакцией поликонденсации гидразинсульфата и терефталевой кислоты в среде концентрированной серной кислоты. Применяемые в процессе изготовления вещества дешевы и доступны, поэтому использование полиоксадиазольных волокон экономически выгодно. Следует отметить, стойкость этого волокна к кислым средам. К их недостаткам можно отнести низкую стойкость к действию открытого пламени – немодифицированные полиоксадиазольные волокна воспламеняются, поддерживают горение и не затухают даже при вынесении их из пламени [25].

В ОАО «СветлогорскХимволокно» (Республика Беларусь) налажен выпуск полиоксадиазольных волокон и нетканого материала Арселон на их основе, некоторые свойства которого представлены в табл. 6 [26].

Нетканый материал Арселон обладает высокой термостойкостью, а также пониженной горючестью. В настоящее время ведутся разработки по увеличению гидролитической и кислотной устойчивости материала.

Таблица 6

**Свойства нетканого материала Арселон
производства ОАО «СветлогорскХимволокно»**

Свойства	Значения свойств
Рабочая температура, °С	270–320 (в некоторых случаях 300–350)
Температура разложения, °С	505
Температура окисления, °С	470
Кислородный индекс, %	32–33
Равновесное влагосодержание, %	10–11

В России компания ООО НПФ «Термостойкие изделия» выпускает два вида материала: АНАТ-ФМ – термостойкое иглопробивное полотно из волокна Арселон с армирующей сеткой из комплексной нити Арселон, и АНАТ-ФМ-Т – термостойкое иглопробивное армированное полотно на основе волокна Арселон с улучшенными свойствами. Некоторые характеристики этих материалов представлены в табл. 7 [27].

Таблица 7

**Свойства полотен АНАТ-ФМ и АНАТ-ФМ-Т
производства ООО «НПФ «Термостойкие изделия»**

Свойства	Значения свойств для материала марки	
	АНАТ-ФМ	АНАТ-ФМ-Т
Температура эксплуатации, °С	250 и 400 (кратковременно)	
Усадка, % (не более)	–	1
Поверхностная плотность, г/м ²	400 (±10 %)	550 (±10 %)

Преимуществами представленных материалов является их стойкость к усадке в процессе эксплуатации, высокая стойкость к органическим кислотам и растворителям, нефтепродуктам, минеральным маслам, они устойчивы к действию разбавленных неорганических кислот и щелочей. Эффективность фильтрации пыли с размером частиц до 0,57 мкм составляет 99,9 %.

Полиакрилонитрильные волокна получают из акрилонитрила, имеющего химическую формулу $\text{CH}_2=\text{CHCN}$. Формование осуществляют как «сухим», так и «мокрым», а также «сухо-мокрым» способами [28, 29]. Волокна обладают низкой гигроскопичностью (при относительной влажности воздуха 65 % поглощение составляет ~1 % воды), отличаются низкой объемной плотностью (1,14–1,17 г/см³), высокими теплоизоляционными свойствами и морозостойкостью. Волокна эксплуатируются при температурах 120–130 °С, при 150–160 °С желтеют, но не снижают термостойкость и могут быть работоспособными до температуры 180 °С [30]. К недостаткам можно отнести жесткость волокон и небольшую устойчивость к истиранию.

Практический интерес для изготовления нетканых материалов представляет термоокисленное полиакрилонитрильное (ПАН) волокно, получаемое из штапельированного ПАН-волокна. По своим свойствам такой материал превосходит многие огнестойкие материалы в области температур до 150 °С, а также отлично зарекомендовал себя при температурах 300–400 °С, а при температуре >450 °С сохраняет свои физические свойства, не горит и не плавится; в открытом пламени при температуре 700 °С может находиться в течение 10–15 мин [19, 23]. Такое волокно может использоваться при изготовлении фильтрующих элементов, работающих при

высоких температурах, в качестве основного материала либо в смеси с арамидными и другими термостойкими волокнами, а также для усиления термо- и огнезащиты.

Для получения нетканых материалов с необходимым комплексом свойств применяют смеси термостойких волокон. При формовании учитывают совместимость видов волокон в растворе, так как термостойкие полимеры не плавятся. Подобные трудногорючие материалы выпускает российская компания ООО НПФ «Авикс», среди которых иглопробивные трудногорючие материалы: АВИКС-АОМ на основе параарамидных волокон, АОМ из окисленных ПАН-волокон и из смесей параарамидных и окисленных ПАН-волокон [31].

Материалы могут иметь различную поверхностную плотность и обладать требуемыми свойствами в зависимости от содержания конкретного вида волокон.

Заключения

При планировании новых разработок и создании технологий изготовления изделий на основе нетканых материалов необходимо учитывать стоимость компонентов и подбирать такие составы, последующая реализация которых возможна в производстве и в то же время они должны быть конкурентоспособными.

При использовании в качестве основы нетканых материалов различных видов волокон необходимо обеспечить гидрофобизацию поверхности, так как в большинстве случаев такие материалы склонны к излишнему водопоглощению и повышенной сорбционной влажности [32]. Таким образом, при разработке новых изделий требуется определить, какими способами возможно улучшить водоотталкивающие свойства материалов без ухудшения их воздухопроницаемости.

Список источников

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // *Вестник Российской академии наук*. 2012. Т. 82. № 6. С. 520–530.
3. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // *Металлы Евразии*. 2015. № 1. С. 36–39.
4. Истомин А.В., Беспалов А.С., Бабашов В.Г. Придание повышенной огнестойкости теплозвукоизоляционному материалу на основе смеси неорганических и растительных волокон // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. № 4 (53). С. 74–78. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-74-78.
5. Ивахненко Ю.А., Баруздин Б.В., Варрик Н.М., Максимов В.Г. Высокотемпературные волокнистые уплотнительные материалы // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 5. С. 272–289. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-272-289.
6. Бабашов В.Г., Степанова Е.В., Зимичев А.М., Басаргин О.В. Оксидные непрерывные волокна как компонент гибкой высокотемпературной изоляции // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 1 (62). Ст. 04. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 02.12.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-34-43.
7. Севостьянов А.Г., Осьмин Н.А., Щербаков В.П. Механическая технология текстильных материалов. М.: Легпромбытиздат, 1989. 512 с.
8. Абдуллин И.Ш., Ибрагимов Р.Г., Музафарова Г.Ш., Саматова Э.М. Современные технологии производства нетканых материалов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 19. С. 114–119.
9. *Авиационные материалы: справочник: в 12 т.* М.: ВИАМ, 2011. Т. 9: Теплозащитные, теплоизоляционные и композиционные материалы, высокотемпературные неметаллические покрытия. С. 31.

10. Перепелкин К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности // Российский химический журнал (Журнал российского химического общества имени Д.И. Менделеева). 2002. Т. XLVI. № 1. С. 31–48.
11. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н. Текстильное материаловедение (исходные текстильные материалы): учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Легпромбытиздат, 1985. 216 с.
12. Будницкий Г.А. Новое в области термостойких полимеров и волокон. М.: НИИТЭХИМ, 1978. 88 с.
13. Беспалов А.С., Кузьмин В.В., Бабашов В.Г. Демпфирующий фитилящий материал на основе термостойких синтетических волокон // Труды ВИАМ. 2015. № 1. Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.12.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-4-4.
14. Кондрашов Э.К., Кузьмин В.В., Минаков В.Т., Понаморева Е.А. Нетканые материалы на основе термостойких полимерных волокон и межплиточные уплотнения // Труды ВИАМ. 2013. № 7. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2021).
15. Любин Дж. Справочник по композиционным материалам: в 2 кн. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 1. 440 с.
16. Каблов Е.Н., Кулагина Г.С., Железина Г.Ф., Лонский С.Л., Куршев Е.В. Исследование микроструктуры однонаправленного органопластика на основе арамидных волокон Русар-НТ и эпоксидно-полисульфонового связующего // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 4 (61). С. 19–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-4-19-26.
17. Сергеева Е.А., Костина К.Д. Анализ ассортимента арамидных волокон и их свойств // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 14. С. 124–125.
18. Дориомедов М.С. Рынок арамидного волокна: виды, свойства, применение // Труды ВИАМ. 2020. № 11 (93). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-11-48-59.
19. Конкин А.А., Кудрявцев Г.И., Щетинин А.М. Термо-жаростойкие и негорючие волокна. М.: Химия, 1978. 424 с.
20. Бюллер К.-У. Тепло- и термостойкие полимеры: пер. с нем. / под ред. Я.С. Выгодского. М.: Химия, 1984. 1056 с.
21. Андронова Н.А., Бессонов М.И., Лайус Л.А., Рудаков А.П. Полиимиды – новый класс термостойких полимеров. М.: Наука, 1968. 211 с.
22. Перепелкин К.Е. Структура и свойства волокон. М.: Химия, 1985. 208 с.
23. Мусина Т.К., Волохина А.В., Щетинин А.М. Полиимидные и арамидные волокна и нити со специальными свойствами на их основе // В мире оборудования. 2010. № 2 (91). С. 4–8.
24. Зефирова Н.С. Химическая энциклопедия: в 35 т. М.: Большая российская энциклопедия, 1998. Т. 5. 783 с.
25. Конкин А.А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы. М.: Химия, 1974. 376 с.
26. Докучаев В.Н. Использование полиоксидазольных и углеродных волокон и нитей ОАО «Светлогорскхимволокно» в производстве технических текстильных материалов. Гродно: ГИАП, 2015. С. 13–16.
27. Материал нетканый АНАТ-ФМ-Т и материал нетканый арселонный АНАТ-ФМ // ООО НПФ «Термостойкие изделия»: офиц. сайт. URL: <https://termiz.all.biz/my-goods/materialy-netkanue> (дата обращения: 02.12.2021).
28. Калиновски Е., Урбанчик Г.В. Химические волокна. М.: Легкая индустрия, 1966. 251 с.
29. Тимошков П.Н., Севастьянов Д.В., Усачева М.Н., Хрульков А.В. Существующие и перспективные технологии получения ПАН-волокон (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. № 11 (83). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-11-68-74.
30. Рязов А.Н., Груздев В.А., Вакшеев И.П. и др. Технология производства химических волокон: учебник для техникумов. 3-е изд. М.: Химия, 1980. 448 с.
31. Авиационный материал иглопробивной трудногорючий марки «АОМ» и «АВИКС-АОМ» // ООО НПФ «АВИКС»: офиц. сайт. URL: <https://aviksnpf.ru/goods/24308060/material-igloprobnouy-trudnogoryuchiyy-marki-aom-tu-8276-007-17364404-03> (дата обращения: 01.12.2021).

32. Пономарева Е.А., Кондрашов Э.К., Минаков В.Т., Полепкина Н.А. Разработка технологического режима гидрофобизации нетканых иглопробивных материалов на основе термостойких волокон // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. № S3. С. 11–16. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-s3-11-16.

References

1. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Kablov E.N. Materials and chemical technologies for aviation equipmen. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 82, no. 6, pp. 520–530.
3. Kablov E.N. Composites: today and tomorrow. *Metally Evrazii*, 2015, no. 1, pp. 36–39.
4. Istomin A.V., Bespalov A.S., Babashov V.G. Adding increased resistance to heat and sound insulation of material based on mixture of inorganic and plant fibers. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 4 (53), pp. 74–78. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-74-78.
5. Ivakhnenko Yu.A., Baruzdin B.V., Varrik N.M., Maksimov V.G. High-temperature fibrous sealing materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 272–289. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-272-289.
6. Babachov V.G., Stepanova E.V., Zimichev A.M., Basargin O.V. Oxide continuous fibers as a part of flexible high temperature insulation. *Aviation materials and technology*, 2021. no. 1 (62). paper no. 04. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: December 2, 2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-34-43.
7. Sevostyanov A.G., Osmin N.A., Shcherbakov V.P. *Mechanical technology of textile materials*. Moscow: Legprombytizdat, 1989, 512 p.
8. Abdullin I.Sh., Iragimov R.G., Muzafarova G.Sh., Samatova E.M. Modern technologies for the production of nonwoven materials. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014, vol. 17, no. 19, pp. 114–119.
9. *Aviation materials: reference book: in 12 vols*. Moscow: VIAM, 2011. Vol. 9: Heat-shielding, heat-insulating and composite materials, high-temperature non-metallic coatings, p. 31.
10. Perepelkin K.E. *Modern chemical fibers and prospects for their use in the textile industry*. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal (Zhurnal rossiyskogo khimicheskogo obshchestva imeni D.I. Mendeleeva)*, 2002, vol. XLVI, no. 1, pp. 31–48.
11. Kukin G.N., Soloviev A.N. *Textile materials science (original textile materials): textbook for universities*. 2nd ed., rev. and add. Moscow: Legprombytizdat, 1985. 216 p.
12. Budnitsky G.A. *New in the field of heat-resistant polymers and fibers*. Moscow: NIITEKhim, 1978, 88 p.
13. Bespalov A.S., Kuzmin V.V., Babashov V.G. Damping fibrous material on basis of heat-resistant synthetic fibers. *Trudy VIAM*, 2015, no. 1, paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 02, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-4-4.
14. Kondrashov E.K., Kuzmin V.V., Minakov V.T., Ponamoreva E.A. Nonwoven materials on the basis of heat-resistant polymeric fibres and intertiled sealings. *Trudy VIAM*, 2013, no. 7, paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 02, 2021).
15. Lubin J. *Handbook of composite materials: in 2 books*. Moscow: Mashinostroenie, 1988, book 1, 440 p.
16. Kablov E.N., Kulagina G.S., Zhelezina G.F., Lons-kii S.L., Kurshev E.V. Microstructure research of the unidirectional organoplastic based on Rusar-NT aramid fibers and epoxy-polysulfone binder. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 4 (61), pp. 19–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-4-19-26.
17. Sergeeva E.A., Kostina K.D. Analysis of the range of aramid fibers and their properties. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 14, pp. 124–125.
18. Doriomedov M.S. Aramid fiber market: types, properties, application. *Trudy VIAM*, 2020, no. 11 (93), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 02, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-11-48-59.

19. Konkin A.A., Kudryavtsev G.I., Shchetinin A.M. *Heat-resistant and non-combustible fibres*. Moscow: Khimiya, 1978. 424 p.
20. Buhler K.-U. *Heat- and heat-resistant polymers*: trans. from Germ. Ed. Ya.S. Vygodsky. Moscow: Khimiya, 1984, 1056 p.
21. Andronova N.A., Bessonov M.I., Laius L.A., Rudakov A.P. *Polyimides are a new class of heat-resistant polymers*. Moscow: Nauka, 1968, 211 p.
22. Perepelkin K.E. *Structure and properties of fibers*. Moscow: Chemistry, 1985. 208 p.
23. Musina T.K., Volokhina A.V., Shchetinin A.M. Polyimide and aramid fibers and threads with special properties based on them. *V mire oborudovaniya*, 2010, no. 2 (91). pp. 4–8.
24. Zefirov N.S. *Chemical Encyclopedia*: in 35 vols. Moscow: Bolshaya rossiyskaya entsiklopediya, 1998, vol. 5. 783 p.
25. Konkin A.A. *Carbon and other heat-resistant fibrous materials*. Moscow: Khimiya, 1974. 376 p.
26. Dokuchaev V.N. *The use of polyoxadiazole and carbon fibers and threads of OAO Svetlogorskkhimvolokno in the production of technical textile materials*. Grodno: GIAP, 2015, pp. 13–16.
27. *Non-woven material ANAT-FM-T and non-woven arselon material ANAT-FM*. Available at: <https://termiz.all.biz/my-goods/materialy-netkanye> (accessed: December 2, 2021).
28. Kalinowski E., Urbanchik G.V. *Chemical fibers*. Moscow: Light industry, 1966, 251 p.
29. Timoshkov P.N., Sevastyanov D.V., Usacheva M.N., Khrulkov A.V. Existing and promising technologies for producing PAN fibers (review). *Trudy VIAM*, 2019, no. 11 (83), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 1, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-11-68-74.
30. Ryauzov A.N., Gruzdev V.A., Vaksheev I.P. *Technology of production of chemical fibers*: textbook for technical schools. 3rd ed. Moscow: Khumiya, 1980, 448 p.
31. Aviation material of needle-punched slow-burning grades "AOM" and "AVIKS-AOM". Available at: <https://aviksnpf.ru/goods/24308060/material-igloprobiivnoy-trudnogoryuchiy-marki-aom-tu-8276-007-17364404-03> (accessed: December 1, 2021)
32. Ponomareva E.A., Kondrashov E.K., Minakov V.T., Polepkina N.A. Development of hydrophobization technological mode of the needle-punched nonwoven materials on the basis of heat resistant fibers. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2014, no. S3. pp. 11–16. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-s3-11-16.

Информация об авторах

Образцова Елена Петровна, инженер-технолог 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Титкова Юлия Максимовна, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Донских Ирина Николаевна, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Elena P. Obratcova, First category engineer-technologist, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Yulia M. Titkova, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Irina N. Donskikh, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 15.12.2021; одобрена и принята к публикации после рецензирования 20.12.2021.

The article was submitted 15.12.2021; approved and accepted for publication after reviewing 20.12.2021.