



## РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Научная статья

05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов (технические науки)

УДК 678

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.024

### ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ АРМИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВОЙ ТКАНЬЮ

Афанасий Алексеевич Дьяконов<sup>1</sup>, Сандал Степанович Аммосов<sup>2</sup>,  
Прасковья Николаевна Тарасова<sup>3</sup>, Айталипа Алексеевна Охлопкова<sup>4</sup>,  
Сардана Афанасьевна Слепцова<sup>5</sup>, Наталия Николаевна Петрова<sup>6</sup>,  
Анатолий Константинович Кычкин<sup>7</sup>, Айсен Анатольевич Кычкин<sup>8</sup>,  
Алексей Геннадьевич Туисов<sup>9</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

<sup>1, 7</sup> Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Россия,

<sup>3, 8, 9</sup> Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия

<sup>1</sup> afonya71185@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>

<sup>2</sup> kakos.ykt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6538-7419>

<sup>3</sup> pn.tarasova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8382-9735>

<sup>4</sup> okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

<sup>5</sup> ssard@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2396-3267>

<sup>6</sup> pnn2002@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7699-7511>

<sup>7</sup> kychkinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

<sup>8</sup> icen.kychkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1540-8140>

<sup>9</sup> tuisovag@gmail.com

**Аннотация.** В настоящее время активно разрабатываются и изучаются гибридные композиционные материалы, усиленные базальтовой тканью, которые обладают высокой прочностью и легкостью. В работе приведены технологические процессы изготовления гибридных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, политетрафторэтилена и бутадиен-нитрильного эластомера со слоем базальтовой ткани. По результатам исследования установлено, что введение армирующего слоя базальтовой ткани в сверхвысокомолекулярный полиэтилен и эластомер приводит к повышению прочностных свойств в  $\sim 2$ – $2,5$  раза, но также приводит к снижению упруго-деформационных свойств. Увеличение прочности композитов происходит за счет усиливающего эффекта базальтовой ткани. На микрофотографиях гибридных композитов, полученных методом сканирующей электронной микроскопии, наблюдается крепление макромолекул сверхвысокомолекулярного полиэтилена и эластомера к поверхности базальтовых волокон на границе «полимер–волокно» в процессе горячего прессования. Но при этом не происходит затекания полимеров во внутрь базальтовой ткани, что не раскрывает полный потенциал гибридных материалов на основе данных связующих. При добавлении армирующего слоя в матрицу на основе политетрафторэтилена наблюдается снижение прочностных показателей композиционного материала, которое происходит за счет низкой адгезии между полимерной матрицей и базальтовой тканью. В процессе свободного спекания полимера совместно с базальтовой тканью не происходит плотного взаимодействия макромолекул политетрафторэтилена с армирующим наполнителем. Анализ топографии низкотемпературных сколов хрупкого разрушения показал, что базальтовая ткань не образует плотного контакта с политетрафторэтиленом.

**Ключевые слова:** базальтовая ткань, эластомер, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, политетрафторэтилен, полимерный композиционный материал, волокно, связующее.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке МОН РФ по Государственному заданию № FSRG -2020-0017.

**Для цитирования:** Исследование композиционных полимерных материалов армированных базальтовой тканью / А. А. Дьяконов [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 175–181. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.024.

Original article

## RESEARCH OF COMPOSITE POLYMER MATERIALS REINFORCED WITH BASALT FABRIC

Afanasii A. Dyakonov <sup>1</sup>, Sandal S. Ammosov <sup>2</sup>, Praskovia N. Tarasova <sup>3</sup>,  
Aitalina A. Okhlopkova <sup>4</sup>, Sardana A. Sleptsova <sup>5</sup>, Nataliia N. Petrova <sup>6</sup>,  
Anatolii K. Kychkin <sup>7</sup>, Aisen A. Kychkin <sup>8</sup>, Aleksei G. Tuisov <sup>9</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

<sup>1, 7</sup> V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

<sup>8, 9</sup> Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS", Yakutsk, Russia

<sup>1</sup> afonya71185@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>

<sup>2</sup> kakos.ykt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6538-7419>

<sup>3</sup> pn.tarasova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8382-9735>

<sup>4</sup> okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

<sup>5</sup> ssard@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2396-3267>

<sup>6</sup> pnn2002@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7699-7511>

<sup>7</sup> kychkinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

<sup>8</sup> icen.kychkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1540-8140>

<sup>9</sup> tuisovag@gmail.com

**Abstract.** Currently, hybrid composite materials reinforced with basalt fabric, which have high strength and ease, are actively being developed and studied. The paper presents technological processes of making hybrid composite materials based on ultra-high molecular weight polyethylene, polytetrafluoroethylene and butadiene-nitrile elastomer with a layer of basalt fabric. According to the results of the study, it was found that the introduction of a reinforcing layer of basalt fabric into ultra-high molecular polyethylene and elastomer leads to an increase in strength properties of ~ 2-2.5 times, but also leads to a decrease in elastic deformation properties. The increase in the strength of composites is due to the strengthening effect of basalt fabric. On micrographs of hybrid composites obtained by scanning electron microscopy, macromolecules of ultra-high molecular weight polyethylene and elastomer are fixed to the surface of basalt fibers at the polymer-fiber interface during hot pressing. However, polymers do not flow into the interior of the basalt fabric, which does not reveal the full potential of hybrid materials based on these binders. When the reinforcing layer is preadded to the polytetrafluoroethylene matrix, the strength properties of the composite material are reduced due to the low adhesion between the polymer matrix and the basalt fabric. In the process of free sintering of the polymer together with the basalt fabric, there is no strong interaction of polytetrafluoroethylene macromolecules with the reinforcing filler. Analysis of the topography of low-temperature chips of brittle fracture showed that basalt fabric does not form a tight contact with polytetrafluoroethylene.

**Keywords:** basalt fabric, elastomer, ultra-high molecular weight polyethylene, polytetrafluoroethylene, polymer composite material, fiber, binder.

**Acknowledgements:** This work was supported by the Ministry of Education and Science of the RF under State Assignment No. FSRG-2020-0017.

**For citation:** Dyakonov, A. A., Ammosov, S. S., Tarasova, P. N., Okhlopkova, A. A., Sleptsova, S. S., Petrova, N. N., Kychkin, A. K., Kychkin, A. A. & Tuisov, A. G. (2021). Research of composite polymer materials reinforced with basalt fabric. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 175-181. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.024.

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным развитием различных отраслей промышленности, перед материаловедами ставятся задачи по поиску и разработке кардинально новых конструкционных материалов, обладающих более высокими эксплуатационными характеристиками. Одной из таких задач является создание композитов на основе различных полимерных матриц, которые могут существенно превосходить традиционные материалы и сплавы по прочности и легкости.

К настоящему времени разработано и реализовано множество работ по модификации практически всех известных полимеров самыми различными наполнителями, отличающимися по природе, форме, дисперсности с использованием всевозможных методов и способов [1–4]. При этом для получения высокопрочных материалов преимущественно используются эпоксидные смолы, армированные непрерывными волокнами, такими как углеродные, стеклянные, базальтовые, арамидные и из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) [5, 6].

В работе рассматривается возможность армирования базальтовой тканью (БТ) таких полимерных материалов, как СВМПЭ, политетрафторэтилена (ПТФЭ) и эластомера. Применение непрерывного армирующего волокна в виде БТ может способствовать существенному повышению прочностных и сдвиговых свойств композитов, сохраняя их легкость [7]. В свою очередь, одной из важных характеристик термопластов (к которым относятся СВМПЭ и ПТФЭ) и эластомеров в процессе эксплуатации является их способность сопротивляться разрушению, благодаря своим вязкоупругим характеристикам.

Целью работы является исследование влияния армирования БТ на свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе СВМПЭ, ПТФЭ и бутадиен-нитрильного эластомера.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве армирующего полотна использовалась базальтовая ткань БТ-11П-КВ-12 («Судогодские стеклопластики», Россия), обработанная замасливателем марки КВ-12. БТ обладает высокими механическими свойствами, стойкостью к агрессивным средам и широким температурным диапазоном эксплуатации от  $-260$  °С до  $+700$  °С [8].

За основу полимерных связующих применялись СВМПЭ марки GUR-4022

(«Celanese», Германия) с молекулярной массой  $5,3 \cdot 10^6$  г/моль, стандартная резиновая смесь [9] на основе бутадиен-нитрильного каучука с содержанием 17–20 % акрилонитрильной кислоты марки БНКС-18 АМН («Красноярский завод СК», Россия), ПТФЭ марки ПН-90 («ГалоПолимер», Россия) со средним размером частиц 46–135 мкм и плотностью  $2,19$  г/см<sup>3</sup>.

Изготовление образцов ПКМ проводилось методом послойной укладки: слой полимера в виде порошка (ПТФЭ, СВМПЭ) или сырой резиновой смеси – слой БТ – слой полимера (так же). Схематичное изображение ПКМ представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Изображение композиционного материала:  
слой полимера – БТ – слой полимера

Figure 1 – Composite image:  
Polymer layer - basalt fabric (BF) - polymer layer

Композиты на основе СВМПЭ и БТ получали методом горячего прессования при температуре  $175$  °С и давлении  $10$  МПа, выдержка образцов составляла  $20$  мин с последующим охлаждением до  $80$  °С под давлением.

Композиты на основе эластомера и БТ получали вулканизацией в гидравлическом прессе при температуре  $155$  °С и давлении  $10$  МПа в течение  $20$  мин.

Перед изготовлением композита на основе ПТФЭ ПН-90 порошок полимера просушивали в термическом шкафу при  $180$  °С в течение  $4$  ч. Композиты получали методом холодного прессования при удельном давлении  $50$  МПа с последующим свободным спеканием в печи при температуре  $380$  °С.

Определение деформационно-прочностных свойств исходных образцов и ПКМ проводили при комнатной температуре с помощью разрывной машины Schimadzu Autograph AGS-J («Shimadzu», Япония) согласно ГОСТ 270-75 (для композитов на основе эластомеров), ГОСТ 11262–2017 (на основе СВМПЭ) и ГОСТ 11262-80 (на основе ПТФЭ).

Исследование микроструктуры хрупких сколов исходных образцов и композитов производили на сканирующем электронном микроскопе марки JSM-7800F («Jeol», Япония) в

режиме вторичных электронов при низком ускоряющем напряжении 1–1,5 кВ

### РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 приведены результаты исследования физико-механических свойств эластомеров на основе каучука БНКС-18 (1) и ПКМ на основе БНКС-18 со слоем БТ (2).

Таблица 1 – Физико-механические свойства резин на основе каучука БНКС-18 и БНКС-18 с БТ

Table 1 - Physic mechanical properties of rubbers based on rubber BNKS-18 and BNKS-18 with BF

Свойства	1	2
$\epsilon_p$ , %	321	9
$f_p$ , МПа	16,2	41
$f_{100\%}$ , МПа	5,62	–

$\epsilon_p$ , % – относительное удлинение;  $f_p$ , МПа – прочность при разрыве;  $f_{100\%}$ , МПа – модуль упругости при удлинении на 100 %.

Добавление армирующего слоя БТ в эластомерную матрицу на основе бутадиеннитрильного каучука приводит к увеличению прочности при разрыве в 2,5 раза по сравнению с исходным образцом. Увеличение прочностных свойств связано с армирующим эффектом БТ, которая имеет более высокие показатели прочности по сравнению с резиной [8, 9], относительное удлинение при разрыве ПКМ уменьшается в 36 раз. Снижение упругодеформационных свойств связано с неспособностью БТ к деформациям. Модуль упругости при удлинении образца с БТ на 100 % не фиксируется вследствие низкой деформации, у исходного образца модуль упругости составил 5,62 МПа.

На рисунке 2 представлена микроструктура исходного эластомера и эластомера со слоем БТ.

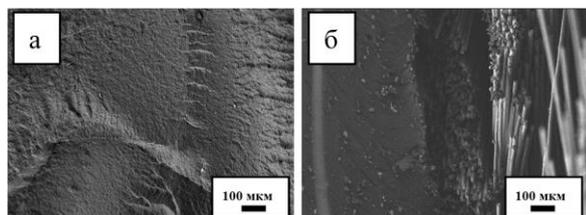


Рисунок 2 – Надмолекулярная структура а) исходного БНКС-18; б) БНКС-18 с БТ

Figure 2 - Supramolecular structure а) BNKS-18; б) BNKS-18 with BF

На микрофотографиях видно, что введение слоя БТ не приводит к изменению мор-

фологии эластомера. БТ имеет контакт с эластомером на границе «полимер–волокно», что является следствием слабой адгезии между макромолекулами резины и волокнами базальта (рисунок 2, б). В процессе вулканизации эластомера с БТ происходит плотный контакт резиновой смеси с тканью. Предположительно в процессе вулканизации происходит частичное проникновение макромолекул каучука в поры базальтовых волокон.

В таблице 2 приведены результаты исследования физико-механических свойств СВМПЭ (3) и ПКМ на основе СВМПЭ со слоем БТ (4).

Таблица 2 – Физико-механические свойства СВМПЭ и ПКМ на основе СВМПЭ со слоем БТ

Table 2 - Physic mechanical properties of UHMWPE and PCM based on UHMWPE with a BF layer

Свойства	3	4
$\epsilon$ , %	339	6
$\delta$ , МПа	32	62,6

$\epsilon$ , % – относительное удлинение при разрыве;  $\delta$ , МПа – предел прочности при растяжении.

Добавление армирующего слоя БТ в ПКМ на основе СВМПЭ приводит к увеличению прочности композита в ~2 раза, при этом существенно снижается относительное удлинение и составляет 6 %. Увеличение прочностных свойств объясняется тем, что основную нагрузку при растяжении несет армирующий слой БТ, который имеет высокие прочностные показатели по сравнению с полимерным связующим СВМПЭ. Уменьшение относительного удлинения объясняется тем, что БТ не способна к деформационно-упругим изменениям линейных размеров без разрушения, т. е. БТ препятствует деформационным сдвигам. Особенностью данного ПКМ является низкая способность к большим удлиняющим деформациям за счет армирующего слоя БТ, что является преимуществом, так как изделия из термопластов не должны подвергаться большим деформационным изменениям в процессе эксплуатации.

На рисунке 3 приведены микрофотографии структуры исходного образца СВМПЭ и образца СВМПЭ со слоем БТ.

На микрофотографиях видно, что слой БТ не оказывает существенного влияния на надмолекулярную структуру СВМПЭ и полимер не проникает внутрь слоя БТ (рисунок 3, б). Визуально наблюдается крепление волокон БТ со СВМПЭ, что указывает о слабом адгезионном взаимодействии на границе «поли-

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ АРМИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВОЙ ТКАНЬЮ

мер–волокно». В процессе горячего прессования СВМПЭ с БТ происходит плотный контакт макромолекул полимера с тканью. В дальнейшем при нагревании происходит увеличение подвижности макромолекул СВМПЭ и их частичное проникновение в поры армирующего слоя БТ.

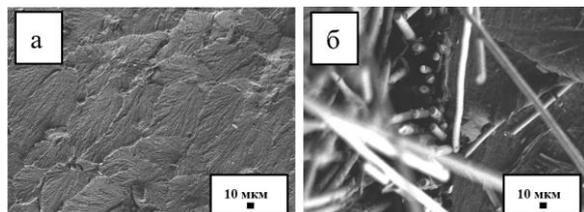


Рисунок 3 – Надмолекулярная структура  
а) исходного СВМПЭ; б) СВМПЭ с БТ

Figure 3 - Supramolecular structure  
a) UHMWPE; b) UHMWPE with BF

В таблице 3 приведены результаты исследования физико-механических свойств ПТФЭ (5) и ПКМ на основе ПТФЭ со слоем БТ (6).

Таблица 3 – Физико-механические свойства ПТФЭ и ПКМ на основе ПТФЭ со слоем БТ

Table 3 - Physic mechanical properties of PTFE and PCM based on PTFE with a BF layer

Свойства	5	6
$\Delta\varepsilon_p$ , %	380±38	78±7,8
$\Delta\sigma_p$ , МПа	18±1,8	11±1,1
E, МПа	475±47	348±34

$\Delta\varepsilon_p$ , % – относительное удлинение при разрыве;  $\Delta\sigma_p$ , МПа – предел прочности при растяжении; E, МПа – модуль упругости.

Из таблицы 3 видно, что показатели при введении армирующего слоя БТ значительно ухудшаются. В процессе растяжения изначально происходит разрушение БТ, которая в данном случае не оказывает армирующего эффекта. Разрушение одного слоя приводит к снижению прочностных показателей, так как является концентратом напряжения. Такое поведение может быть объяснено низкой межфазной адгезией между полимерной матрицей и слоем БТ. Известно, что ПТФЭ отличается уникальной химической инертностью и очень низкой адгезионной активностью [10].

На рисунке 4 представлены микрофотографии исходного ПТФЭ и ПКМ на основе ПТФЭ с усиливающим слоем БТ. Для подтверждения причины низких показателей композитов были проведены исследования методом электронной микроскопии.

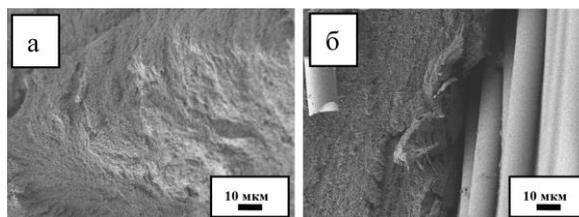


Рисунок 4 – Надмолекулярная структура  
а) исходного ПТФЭ; б) ПТФЭ с БТ

Figure 4 - Supramolecular structure:  
a) PTFE; b) PTFE with BF

Видно (рисунок 4, б), что слой БТ не повлиял на морфологию структурообразования ПТФЭ. Также видно, что какого-либо «сцепления» макромолекул с волокнами БТ нет, что подтверждает отсутствие адгезионного взаимодействия на границе «полимер–волокно».

Изготовление ПКМ на основе СВМПЭ и эластомера производится методом горячего прессования, что обеспечивает более плотный контакт полимера с БТ под воздействием давления в процессе нагревания, поскольку под давлением происходит их частичное проникновение в поры армирующего слоя БТ. Технология изготовления ПКМ на основе ПТФЭ осуществляется методом свободного спекания, что не обеспечивает плотного контакта на границе «полимер–волокно» из-за отсутствия давления во время нагрева. Предположительно, одним из основных факторов, оказывающих влияние на прочностные свойства ПКМ, является метод изготовления. Очевидно, более благоприятным является метод горячего прессования, который обеспечивает более плотное взаимодействие полимерной матрицы с волокнами БТ.

### ВЫВОДЫ

На основании полученных результатов установлено, что ПКМ на основе БТ со связующим из эластомера и СВМПЭ обладают высокими прочностными свойствами. Выявлено, что при армировании полимера СВМПЭ увеличивается прочность на разрыв в ~2 раза, у композитов на основе эластомера прочность увеличивается в ~2,5 раза, при этом относительное удлинение существенно снижается и не превышает у образца СВМПЭ с БТ 6 %, у эластомера с БТ 9 %. Улучшение прочностных свойств ПКМ, связано с усиливающим эффектом БТ. Снижение относительного удлинения происходит из-за того, что у БТ очень низкие свойства к упруго-деформационным изменениям.

При добавлении БТ в ПТФЭ относительное удлинение при разрыве, предел прочности при растяжении, модуль упругости значительно ухудшаются. Такое поведение объясняется низкой межфазной адгезией между полимерной матрицей и слоем БТ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Enhancement of the wear resistance of epoxy: short carbon fibre, graphite, PTFE and nano-TiO<sub>2</sub> / Z. Zhang [etc.] // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2004. № 35 (12). P. 1385–1392. /doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.05.005.

2. Разработка стойких к авиационным синтетическим маслам резин на основе смесей нитрильных и диеновых каучуков / В.В. Мухин [и др.] // *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. 2016. № 6. С. 41–50.

3. Investigation of the diphenylguanidine effect on the adhesive interaction of ultra-high molecular weight polyethylene with an elastomer based on isoprene rubber / A.A. Dyakonov [etc.] // *AIP Conference Proceedings* (с международным участием). AIP Publishing LLC. 2020. Vol. 2315. № 1. p. 050004. doi.org/10.1063/5.0036826.

4. Increasing wear resistance of UHMWPE by loading enforcing carbon fibers: Effect of irreversible and elastic deformation, friction heating, and filler size / S.V. Panin [etc.] // *Materials*. 2020. № 13. P. 338. doi: 10.3390/ma13020338.

5. Гибридные композиты на основе волокнистых наполнителей из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и стеклонанонаполнителей / Е.А. Беляева [и др.] // *Успехи в химии и химической технологии*. 2015. № 10 (169).

6. Забережный С.А., Исмаилов М.Б., Байсериков Б.А. Технология получения углепластиковых пластин // *Комплексное использование минерального сырья*. 2016. № 3. С. 74–77.

7. Карнуб А., Нежижимов Д.Б., Ширинян К.С. Исследование и моделирование многослойного композитного материала с применением базальтовой ткани // *Вестник Донского государственного технического университета*. 2020. Т. 20. № 1. С. 5–14. doi.org/10.23947/1992-5980-2020-1-5-14.

8. Ибатуллина А.Р. Обзор производителей и сравнение свойств сверхпрочных высокомодульных волокон // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. № 19. С. 136–139.

9. Корнев А.Е., Буканов А.М., Шевердяев О.Н. Технология эластомерных материалов. Москва, МГОУ, 2001. 472 с.

10. Чемисенко О.В. Разработка и исследование износостойких антифрикционных полимерных нанокompозитов на основе политетрафторэтилена: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2018. 130 с.

### Информация об авторах

А. А. Дьяконов – кандидат технических наук, с.н.с. УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов» Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова»

сова»; н.с. ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН».

С. С. Аммосов – студент 4 курса химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

П. Н. Тарасова – аспирант 1 курса химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова»; младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

А. А. Охлопкова – доктор технических наук, профессор химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

С. А. Слепцова – кандидат технических наук, зав. УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов», доцент химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

Н. Н. Петрова – доктор химических наук, профессор химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. К. Кычкин – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН».

А. А. Кычкин – научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

А. Г. Туисов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

### REFERENCES

1. Zhang, Z., Breidt, C., Chang, L., Hauptert, F. & Friedrich, K. (2004). Enhancement of the wear resistance of epoxy: short carbon fibre, graphite, PTFE and nano-TiO<sub>2</sub>. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, (35(12)), 1385-1392. (In Eng.). doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.05.005.

2. Muhin, V.V., Petrova, N.N., Kapitonov, E.A. & Afanaseev, A.V. (2016). Razrabotka stojkih k aviacionnym sinteticheskim maslam rezin na osnove smesej nitril'nyh i dienovyh kauchukov. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. MK Ammosova*, (6 (56)), 41–50. (In Russ).

3. Dyakonov, A.A., Danilova, S.N., Vasiliev, A.P., Okhlopova, A.A., Sleptsova, S.A., Petrova, N.N. & Kychkin, A.K. (2020). Investigation of the diphenylguanidine effect on the adhesive interaction of ultra-high molecular weight polyethylene with an elastomer based on isoprene rubber. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC, (Vol. 2315, No 1, p. 050004). (In Eng). doi.org/10.1063/5.0036826.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ АРМИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВОЙ ТКАНЬЮ

4. Panin, S.V., Kornienko, L.A., Alexenko, V.O., Buslovich, D.G., Bochkareva, S.A. & Lyukshin, B.A. (2020). Increasing wear resistance of UHMWPE by loading enforcing carbon fibers: Effect of irreversible and elastic deformation, friction heating, and filler size. *Materials*, (13(2)), 338. (In Eng.) doi: 10.3390/ma13020338.

5. Belyaeva, E.A., Kosolapov, A.F., Shackij, S.V., Osipchik, V.S. & Nabiullin, A.F. (2015). Gibridnye kompozity na osnove volknistykh napolnitelej iz sverhvysokomolekulyarnogo polietilena i steklonapolnitelej. *Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii*, (10 (169)). (In Russ).

6. Zaberezhnyj, S.A., Ismailov, M.B. & Bajserikov, B.A. (2016). Tekhnologiya polucheniya ugleplastikovyh plastin. *Kompleksnoe ispol'zovanie mineralnogo syrya*, (No 3), 74-77. (In Russ.).

7. Karnub, A., Nezhizhimov, D.B. & Shirinyan, K.S. (2020). Issledovanie i modelirovanie mnogoslnojnogo kompozitnogo materiala s primeneniem bazal'tovoj tkani. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, (Vol. 20, No 1.), 5-14. (In Russ.). doi.org/10.23947/1992-5980-2020-20-1-5-14.

8. Ibatullina, A.R. (2014). Obzor proizvoditelej i sravnenie svoystv sverhprochnyh vysokomodul'nyh volokon. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (No.19), 136-139. (In Russ).

9. Kornev, A.E., Bukanov, A.M. & Sheverdyaev, O.N. (2001). *Tekhnologiya elastomernyh materialov*. Moscow: MGU, 2001. (In Russ.).

10. Chemisenko, O.V. (2018). Razrabotka i issledovanie iznosostojkih antifrikcionnyh polimernyh nanokompozitov na osnove politetraforetilena. Extended abstract of kand. tekhn. nauk. Omsk. (In Russ).

S. S. Ammosov – 4<sup>th</sup> year student of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences, NEFU.

P. N. Tarasova – 1<sup>st</sup> year postgraduate student of the Chemistry Department of the Institute of Natural Sciences, NEFU; Junior Researcher, Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS".

A. A. Okhlopko – Doctor of Technical Sciences, professor of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU.

S. A. Sleptsova – Candidate of Technical Sciences, Head of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites", associate professor of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU.

N. N. Petrova – Doctor of Chemical Sciences, professor of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU.

A. K. Kychkin – Candidate of Technical Sciences, leading researcher of the "V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS".

A. A. Kychkin – researcher of the Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS".

A. G. Tuisov – Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS".

### **Information about the authors**

A. A. Dyakonov – Candidate of Technical Sciences, researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites", Institute of Natural Sciences, NEFU; researcher of the "V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS".

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 01.05.2021; одобрена после рецензирования 24.05.2021; принята к публикации 28.05.2021.*

*The article was submitted to the editorial board on 01 May 21; approved after review on 24 May 21; accepted for publication on 28 May 21.*