

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 678.742

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-439-449>

Поверхностная обработка армирующих наполнителей смесью фенилметана и полибутадиена для повышения адгезии с эластомером

А. Е. Марков^{*1}, М. М. Копырин¹, А. А. Дьяконов^{1,2}, А. Г. Туисов¹,
А. А. Охлопкова², Н. Н. Лазарева²

¹Якутский научный центр СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

²Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

✉ *aital.markov@gmail.com

Аннотация

Актуальной задачей в материаловедении при получении композитных эластомеров является применение высоко-модульных волокон, обладающих повышенными технологическими и эксплуатационными свойствами. Наиболее известные армирующие наполнители – базальто-, стекло- и углеволокна, обладающие высокой химической инертностью. Поэтому с введением данных наполнителей в эластомер встает вопрос о повышении их сцепления с резиновой матрицей, что позволит повысить надежность и долговечность материала при эксплуатации. В работе приводится метод повышения адгезии между адгезивом и субстратом за счет поверхностной обработки армирующих тканей резиновой смесью, предварительно растворенной в фенилметане (толуол). Полученные материалы исследовали на упругопрочностные свойства, износостойкость, твердость и величину адгезии. Также было проведено изучение микроструктуры в объеме материала, поверхности трения и места расслоения. По результатам проведенных испытаний на растяжение наблюдается общая тенденция по повышению значений пределов прочности до 1,6 раза и снижению показателей относительного удлинения до 2 раз. Проведенные испытания на износостойкость показали снижение значений на 10–20 % у образцов с поверхностной обработкой ткани растворенной смесью, при этом наблюдается повышение значений твердости. Поверхностная обработка тканей приведенным методом перед вулканизацией позволила повысить значения адгезии от 1,2 до 3 раз.

Ключевые слова: эластомер, базальтоволокно, углеволокно, стекловолокно, высокомодульный материал, адгезия, гибридный материал, композитный эластомер

Финансирование. Работа выполнена при поддержке МОН РФ по Государственному заданию № FSRG-2020-0017 и № FWRS-2022-0001.

Благодарности. Авторы выражают благодарность М.П. Лебедеву и А.К. Кычкину за оказанные поддержку и содействие при выполнении работы.

Для цитирования: Марков А.Е., Копырин М.М., Дьяконов А.А., Туисов А.Г., Охлопкова А.А., Лазарева Н.Н. Поверхностная обработка армирующих наполнителей смесью фенилметана и полибутадиена для повышения адгезии с эластомером. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022;27(3):439–449. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-439-449>

Surface treatment of reinforcing fillers with a mixture of phenylmethane and polybutadiene to increase adhesion with elastomer

А. Е. Markov^{*1}, М. М. Kopyrin¹, А. А. Dyakonov^{1,2}, А. G. Tuisov¹,
А. А. Okhlopko², N. N. Lazareva²

¹The Yakut Scientific Centre SB RAS, Yakutsk, Russian Federation

²Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

✉ *aital.markov@gmail.com

Abstract

The use of high-modulus fibers with improved technological and operational properties in production of the composite elastomers is an urgent task in Materials Science. The widespread reinforcing fillers are basalt, glass and carbon fibers,

which have a high chemical inertness. Therefore, the introduction of these fillers into the elastomer requires an increase of their adhesion to the rubber matrix, which further improves the reliability and durability of the material in operation. This paper presents a method for increasing the adhesion between the adhesive and the substrate due to the surface treatment of reinforcing fabrics with a rubber mixture previously dissolved in phenylmethane (toluene). We investigated the obtained materials for elastic-strength properties, wear resistance, hardness and adhesion. We also studied the microstructure in the volume of the material, the friction surface and the place of delamination. The results of the tensile tests showed a general tendency in increasing of the tensile strength values up to 1.6 times and decreasing of the relative elongation values up to 2 times. The tests for wear resistance showed a decrease in values by 10–20 % for samples with the surface treatment of fabric with a dissolved mixture, along with an increase in their hardness values. Surface treatment of fabrics by proposed method before vulcanization increased adhesion values from 1.2 to 3 times.

Keywords: elastomer, basalt fiber, carbon fiber, glass fiber, high modulus material, adhesion, hybrid material, composite elastomer

Funding. This study was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the State Assignment (project number FSRG-2020-0017 and FWRS-2022-0001).

Acknowledgements. The authors are grateful to M.P. Lebedev and A.K. Kychkin for their support and assistance in carrying out this work.

For citation: Markov A.E., Kopyrin M.M., Dyakonov A.A., Tuisov A.G., Okhlopko A.A., Lazareva N.N. Surface treatment of reinforcing fillers with a mixture of phenylmethane and polybutadiene to increase adhesion with elastomer. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2022;27(3):439–449. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-439-449>

Введение

За последние годы полимерно-композиционные материалы (ПКМ) нашли широкое применение в различных отраслях: автомобилестроении, судостроении, микроэлектронике, медицине, текстильной промышленности, сельском хозяйстве и т. д. Это связано с их хорошими эксплуатационными, физико-механическими свойствами и низкой стоимостью. Дополнительным преимуществом данной группы материалов является возможность модифицирования полимерной матрицы путем комбинирования наполнителей, создания многослойных изделий, введения модификаторов в объем матрицы и т. д. [1, 2].

Одной из важных эксплуатационных характеристик эластомерных материалов, эксплуатирующихся в климатических условиях Арктики и Субарктики, является высокая морозостойкость. Известно, что данной характеристикой обладают эластомеры на основе бутадиеновых, изопреновых, силиконовых, бутадиен-нитрильных каучуков с низким содержанием акрилонитрильных групп и т. д. [3–8].

При создании высокомодульных ПКМ, способных эксплуатироваться в Арктических регионах Севера, на основе морозостойких каучуков возможно применение различных видов армирующих компонентов, которые используются в конструкционных композитах, удовлетворяющих ряду технологических требований [9–11]. К ним относятся требования по прочности, жесткости, плотности, стабильности свойств в ши-

роком температурном интервале, химической стойкости и т. п. Основными современными и доступными армирующими наполнителями для получения ПКМ с повышенными физико-механическими показателями являются ткани на основе базальто-, стекло- и углеволокна [12–17]. Например, предел прочности при растяжении базальтового волокна варьируется от 1,3 до 4,0 ГПа, а модуль упругости от 78 до 90,3 ГПа [18]; у стекловолокон предел прочности варьируется от 1,5 до 5,0 ГПа, а модуль упругости от 50 до 90 ГПа [19]; прочность на растяжение углеволокон доходит до 6–7 ГПа, а модуль упругости – до 600 ГПа [20–23].

Данная группа армирующих материалов обладает повышенной химической стойкостью к растворам кислот и щелочей. Повышенная химическая стойкость к сильным растворам кислот и щелочей базальтовых волокон обусловлена быстрой адсорбцией и частичным растворением базальта, образуется защитная пленка, что приводит к замедлению старения материалов [24, 25]. Воздействие сильных кислот и щелочей на стекловолокно происходит в несколько стадий. Основным механизмом является адсорбция воды и агрессивной среды, параллельно протекают более медленные реакции, которые приводят к растворению оксидных компонентов. Таким образом, защитная пленка не образуется, а сразу превращается в высокопористый кремнезем [26, 27]. Углеродное волокно при нормальных условиях и в отсутствие катализаторов хи-

мически инертно к воздействию кислот и щелочей [28, 29].

Однако, при введении данных наполнителей необходимо учитывать их взаимодействие с полимерной матрицей, а именно процессы сцепления субстрата с адгезивом. Литературный анализ показал, что на данный момент самым распространенным методом повышения адгезии является нанесение или смачивание поверхности волокна различными химическими растворами. Например, в работе Etcheverry и Barbosa [30] использовались различные методы химического травления волокон для улучшения адгезии стекловолокна с полимерной матрицей. В исследовании [31] повысили адгезию между стекловолокном и стирол-бутадиенвинилпиридиновым эластомером путем предварительной пропитки стекловолокна раствором, содержащим γ -аминопропилтриэтоксисилан, глицерин и воду. В работе [32] авторы модифицировали поверхность волокна плазмохимическим процессом.

Целью данной работы является исследование свойств высокомодульных материалов и влияния поверхностной обработки армирующего наполнителя на адгезионное взаимодействие с эластомерной матрицей.

Методы и материалы исследования

Объектами исследования являются эластомерные материалы, армированные усиливающей тканью методом послойной укладки. В качестве армирующего слоя использовали ткани из: базальтового волокна (БТ) марки БТ-11 (100) (Фабрика технических тканей, Россия) с поверхностной плотностью 351 г/м^2 и саржевым переплетением 5/3; стекловолокна (СТ) марки ТР-560-30А (100) (ПолоцкСтекловолокно, Беларусь) с поверхностной плотностью 560 г/м^2 и саржевым

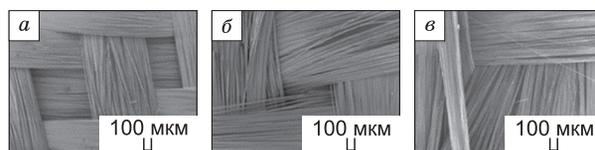


Рис. 1. Микрофотографии тканей: а – БТ; б – СТ; в – УТ.

Fig. 1. Microphotographs of fabrics: a – BF; б – GF; в – CF.

переплетением 2/2; углеволокна (УТ) марки 2/2-1000-12К-400 (Препрег-СКМ, Россия) с плотностью 407 г/м^2 и саржевым переплетением 2/2. Микрофотографии тканей приведены на рис. 1.

На микрофотографиях видно, что базальтовая ткань имеет более плотное переплетение между пучками волокон относительно стеклоткани и углеткани. Предположительно, это можно объяснить соотношением количества промежуточных переплетений волокон базальтовой ткани – 5 к 3, тогда как у стеклоткани и углеткани – 2 к 2.

В качестве эластомерной матрицы использовали резиновую смесь на основе морозостойкого бутадиенового каучука марки СКД-В (Сибур, Россия) [33]. Смешение ингредиентов производили на лабораторных вальцах открытого типа PL-2200 (Brabender, Германия) в течение 20 мин. Рецепттура и время введения ингредиентов в резиновую смесь приведены в табл. 1.

Для повышения сцепления волокон с эластомерной матрицей на поверхность армирующих наполнителей наносили слой растворенной резиновой смеси на основе СКД-В в фенилметане (толуол, ТУ 2631-020-92804628-2010). Данную растворенную смесь (РС) наносили на армирующую ткань и высушивали в сушильном шкафу в течение 15 минут. Массовое соотношение резиновой смеси СКД-В и растворителя составляло 1:2.

Таблица 1

Рецептура резиновой смеси на основе СКД-В и время введения

Table 1

Recipe and time of introduction of rubber compound ingredients

Ингредиент / Ingredient	Масс.ч. / Mass fraction	Время введения, мин / Introduction time, min
СКД-В / SKD-V	100,0	0
Стеариновая кислота / Stearic acid	2,0	0
ТУ N550 / Technical Carbons N550	50,0	2
Оксид цинка / Zinc oxide	3,0	5
Сульфенамид Ц / Sulfenamide C	0,9	10
Сера / Sulfur	1,5	12

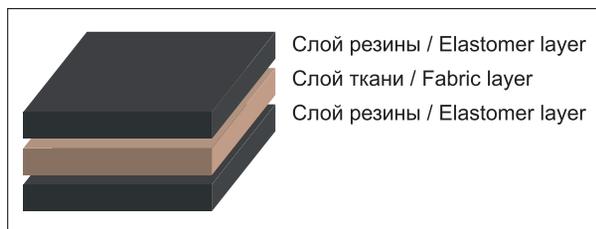


Рис. 2. Изображение армированного материала: слой эластомера–слой армирующей ткани–слой эластомера.

Fig. 2. Reinforced material: elastomer layer–reinforcing fabric layer–elastomer layer.

Изготовление опытных образцов осуществляли методом послойной укладки: резиновая смесь–армирующий слой ткани–резиновая смесь. Схематическое изображение укладки образцов приведено на рис. 2.

Вулканизацию гибридных эластомерных композитов осуществляли в гидравлическом прессе ПКМВ-100 (Импульс, Россия) при 155 °С в течение 20 мин под давлением 10 МПа.

Определение упругопрочностных свойств армированных эластомеров проводили на испытательной машине Autograph AGS-JSTD (Shimadzu, Япония) по стандарту ISO 37-2020; износостойкость определяли на машине трения МИ-2 (Полимермаш групп, Россия) при использовании абразивной поверхности зернистостью 150 согласно ISO 4649-85; твердость определяли по методу Шор А согласно стандарту ISO 7619-1-2009; определение значений адгезии проводили согласно стандарту ISO 36-2017. Исследование микроструктуры низкотемпературных сколов и поверхности трения образцов проводили на растровом электронном микроскопе JSM-7800F

(JEOL, Япония) при низком ускоряющем напряжении в режиме вторичных электронов.

Результаты исследования

На рис. 3 приведены диаграммы сравнения относительного удлинения и предела прочности эластомеров, армированных слоями БТ, СТ и УТ, и эластомеров, армированных слоями таких же тканей предварительно обработанные раствором резиновой смеси на основе СКД-В.

Из диаграммы относительного удлинения видно, что результаты существенно не изменились, кроме образца с БТ, пропитанного резиновой смесью. Так, относительное удлинение образца СКД-В БТ с растворенной смесью уменьшается в 2 раза и составляет 8,4 % по сравнению с исходным образцом. Пропитка РС армирующих слоев БТ и УТ позволяет увеличить предел прочности образцов: у БТ с 29,0 до 38,1 МПа, у УТ с 18,0 до 30,1 МПа. Это позволяет сделать вывод об увеличении взаимодействия между БТ, УТ и эластомерной матрицей в ходе совместной вулканизации.

Таким образом, пропитка РС армирующего слоя БТ и УТ и их последующее введение в эластомер повышают прочностные характеристики и сопротивление материалов к деформациям. Снижение показателя прочности у образца СКД-В, армированного СТ, обработанной РС, предположительно, связано с растворением замасливателя волокон в толуоле во время обработки поверхности ткани, что снижает прочностные свойства самих армирующих наполнителей в полученном ПКМ.

На рис. 4 представлены микрофотографии хрупких сколов эластомеров СКД-В и компо-

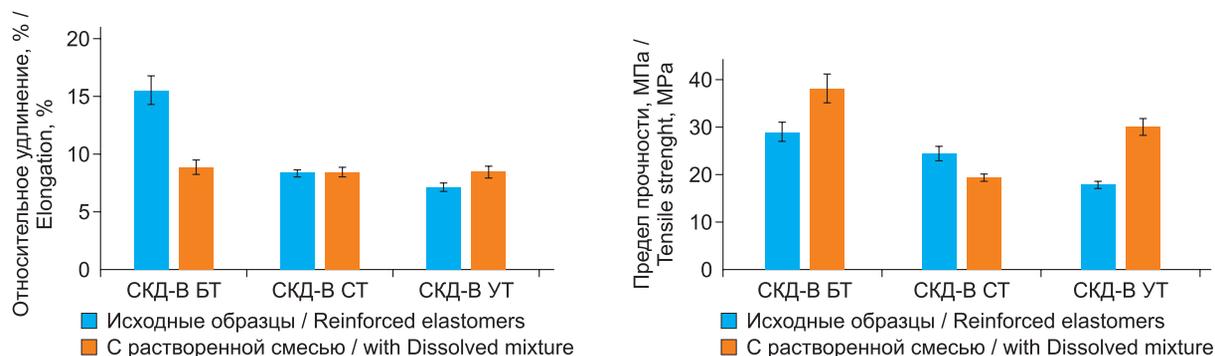


Рис. 3. Диаграммы физико-механических свойств эластомеров на основе каучука СКД-В с БТ, СКД-В с СТ, СКД-В с УТ, СКД-В с БТ/РС, СКД-В с СТ/РС, СКД-В с УТ/РС.

Fig. 3. Physical and mechanical properties (left – Elongation; right – Tensile strength) of elastomers based on rubber SKD-V BF, SKD-V GF, SKD-V CF, SKD-V BF with a dissolved mixture (d. m.), SKD-V GF with a d. m., SKD-V CF with a d. m.

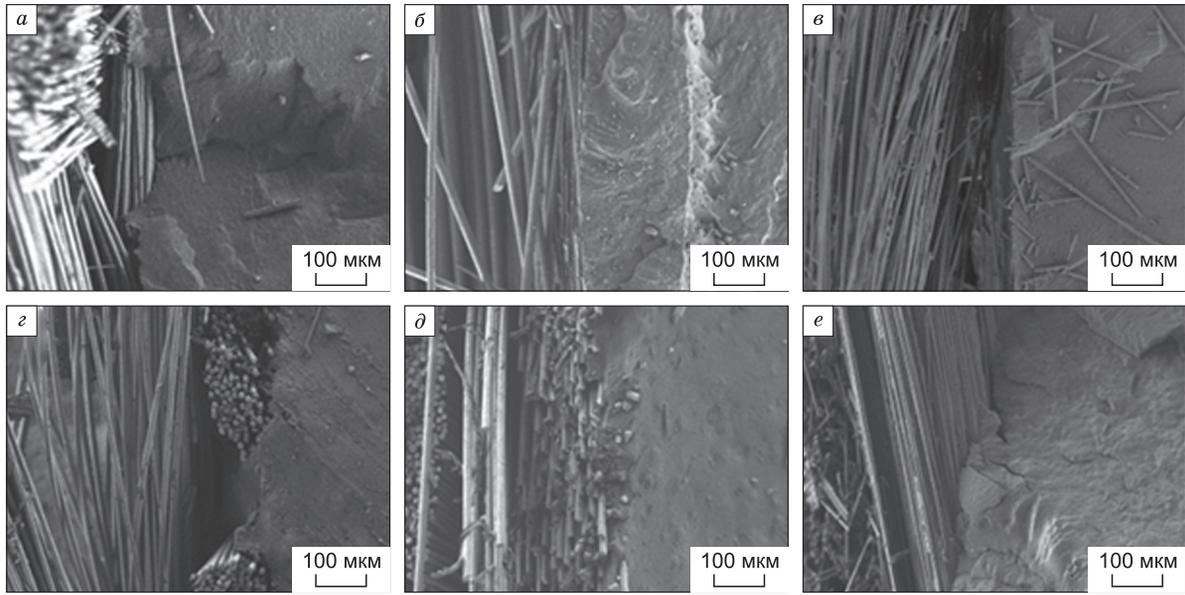


Рис. 4. Микрофотографии сколов образцов: *a* – СКД-В с БТ; *б* – СКД-В с СТ; *в* – СКД-В с УТ; *г* – СКД-В с БТ/РС; *д* – СКД-В с СТ/РС.; *е* – СКД-В с УТ/РС.

Fig. 4. Microphotographs of specimen cleavages: *a)* SKD-V BF; *б)* SKD-V GF; *в)* SKD-V CF; *г)* SKD-V BF with a d. m.; *д)* SKD-V GF with a d. m.; *е)* SKD-V CF with a d. m.

зитных эластомеров с добавлением армирующего слоя.

Из рис. 4 видно, что образцы с армирующими наполнителями, пропитанные РС, плотнее контактируют с эластомерной матрицей. На рис. 4, *д*, *е* волокна более структурированы между собой, тогда как на рис. 4, *б*, *в* волокна разошлись друг от друга. На микрофотографиях образцов с БТ также наблюдается более плотный контакт, заметны места сцепления поверхности волокон с резиновой матрицей (см. рис. 4, *г*).

В табл. 2 приведены результаты исследования твердости по Шор А эластомеров с армирующими слоями.

Из полученных результатов видно некоторое повышение твердости у образцов с БТ и УТ, подвергшихся обработке РС, по сравнению с исходными образцами. Наибольшим показателем твердости обладает образец эластомера с УТ пропитанный РС, его показатели выше на 6,4 % по сравнению с исходным образцом. Предположительно, увеличение твердости образцов, обработанных РС, происходит из-за того, что растворенная резиновая смесь проникает в свободное пространство между волокнами армирующей ткани и вулканизируется с основной эластомерной матрицей, образуя более плотное соединение. Снижение показателя твердости у образцов эластомера, армированных СТ с поверхностной об-

работкой по сравнению с исходным образцом можно связать с растворением, замасливателя в толуоле и, соответственно, снижением жесткости ткани.

На рис. 5 приведена диаграмма износостойкости исходных эластомеров, армированных слоем ткани и с предварительной обработкой РС.

По результатам испытания на износостойкость установлено снижение показателей у армированных образцов, пропитанных РС, по сравнению с исходными образцами. Возможно, это связано с тем, что РС проникает вглубь между армиру-

Таблица 2

Твердость по Шор А эластомеров на основе каучука

Table 2

Hardness according to Shore A of elastomers based on rubber

Образец / Sample	Шор А, усл.ед. / Hardness Shore A
СКД-В+БТ / SKD-V+BF	66,5
СКД-В+СТ / SKD-V+GF	66,5
СКД-В+УТ / SKD-V+CF	66,0
СКД-В+БТ/РС / SKD-V+BF/DC	69,5
СКД-В+СТ/РС / SKD-V+GF/DC	65,0
СКД-В+УТ/РС / SKD-V+CF/DC	70,5

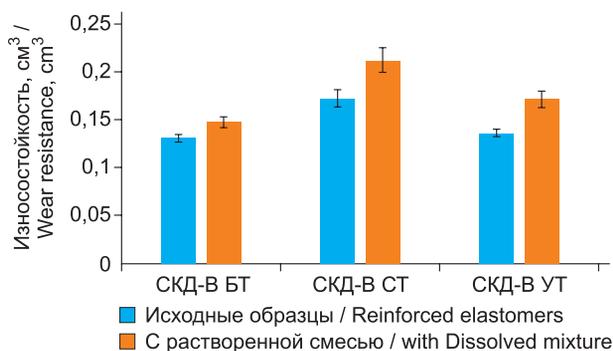


Рис. 5. Диаграмма износостойкости эластомеров на основе каучука СКД-В с БТ, СКД-В с СТ, СКД-В с УТ, СКД-В с БТ/РС, СКД-В с СТ/РС, СКД-В с УТ/РС.

Fig. 5. The diagram of wear resistance of elastomers based on rubber SKD-V BF, SKD-V GF, SKD-V CF, SKD-V BF with a d. m., SKD-V GF with a d. m., SKD-V CF with a d. m.

щими тканями и увеличивает площадь контакта эластомерной матрицы с волокнами. Вследствие этого в процессе трения образцов об абразивную поверхность происходит отрыв самих армирующих тканей с частями резины от основной эластомерной матрицы. Результаты испытания показали, что износостойкость снижается на 10–20 %.

На рис. 6 приведены микрофотографии поверхности образцов после испытаний на абразивостойкость.

На рис. 6 видны микрофотографии сравнения исходных образцов (а–в) и образцов, пропитанных РС (г–е). На рис. 6, г–е видно, что поверхность образцов после испытания на абразивостойкость более рыхлая, что подтверждает предположение об отрыве не только армирующих тканей, но и части резины. Кроме того, зафиксированы частицы волокон на рис. 6, в–е.

На рис. 7 приведена диаграмма адгезии композитных эластомеров, с добавлением слоя исходных армирующих тканей и обработанных РС. На рис. 7 видно, что пропитывание армирующих тканей РС повышает адгезию между материалами. Композит, армированный обработанным в резиновой смеси УТ, обладает наибольшей адгезионной прочностью, так, наблюдается увеличение адгезии обработанных материалов по сравнению с исходными образцами с 0,91 до 2,61 Н/мм. При сравнении результатов между двумя образцами, где используется БТ в качестве армированной ткани, наблюдается незначительное повышение значения адгезии. Этот факт можно объяснить тем, что у базальтовой ткани более плотный тип переплетения пучков волокон. По общим результатам расслоения образцов можно прийти к выводу, что пропитка армированной ткани РС повышает адгезию между материалами.

На рис. 8 представлены микрофотографии образцов ПКМ после испытания на расслоение.

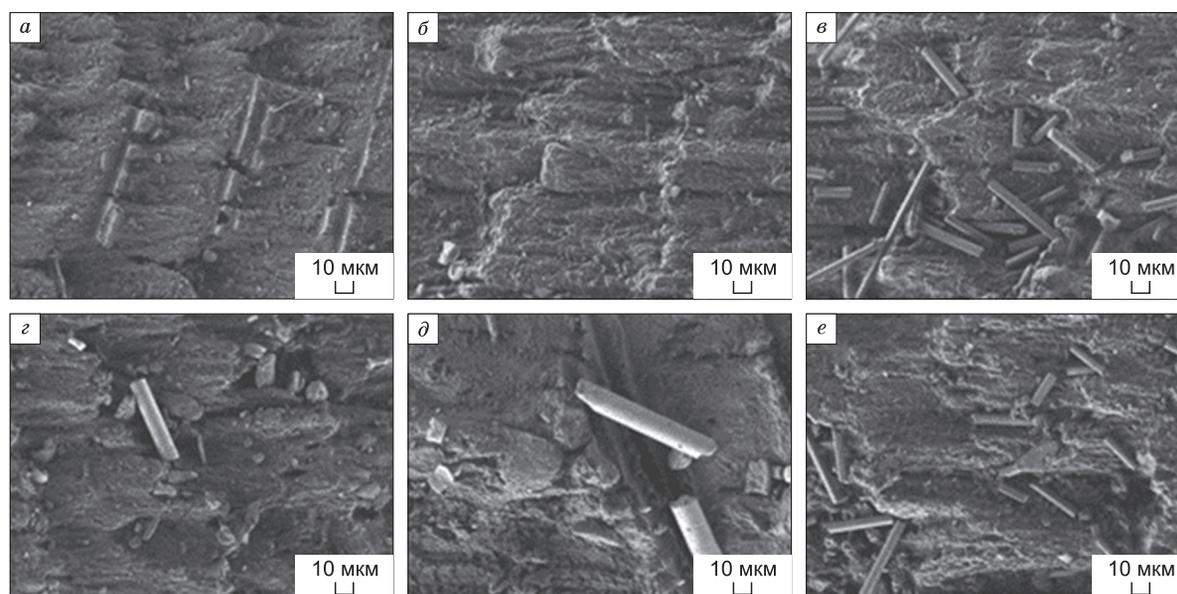


Рис. 6. Микрофотографии образцов после испытаний на износостойкость: а – СКД-В с БТ; б – СКД-В с СТ; в – СКД-В с УТ; г – СКД-В с БТ/РС.; д – СКД-В с СТ/РС; е – СКД-В с УТ/РС

Fig. 6. Microphotographs of samples: а) SKD-V BF; б) SKD-V GF; в) SKD-V CF; г) SKD-V BF with a d. m.; д) SKD-V GF with a d. m.; е) SKD-V CF with a d. m. after wear test

На рис. 8 наблюдаются частицы волокон после испытания на расслоение. Однако, на рис. 8, з–е можно наблюдать мелкие оставшиеся волокна в эластомерной матрице, предположительно, из-за увеличения взаимодействия между материалами при расслоении происходит их разрушение. Из этого следует, что проникновение растворенной резиновой смеси в глубь волокон способствует лучшему взаимодействию армированной ткани к эластомерной матрицей, что приводит к повышению адгезии эластомера с армирующими тканями (см. рис. 7). Данное изменение структуры коррелирует с результатами испытаний на адгезию. Наиболее сильное изменение структуры наблюдается у образца СКД-В с УТ, пропитанной РС.

Заключение

В работе армирующие наполнители из базальто-, стекло- и углеткани обрабатывали РС. После чего путем послойной укладки и последующей вулканизации были получены высокомолекулярные эластомерные материалы, обладающие повышенной деформационной прочностью и устойчивостью к сдвиговым разрушениям. По результатам физико-механических испытаний армированных эластомеров, обработанных РС, было установлено, что:

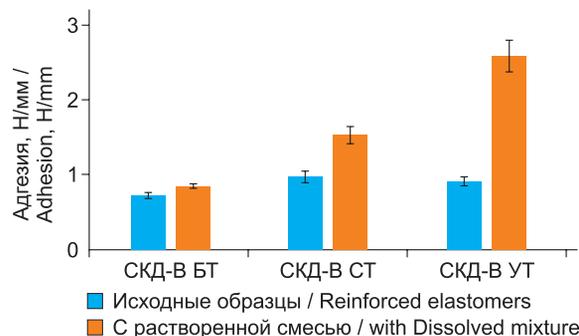


Рис. 7. Диаграмма расслоения эластомеров на основе каучука СКД-В с БТ, СКД-В с СТ, СКД-В с УТ, СКД-В с БТ/РС, СКД-В с СТ/РС, СКД-В с УТ/РС.

Fig. 7. The diagram of adhesion of elastomers based on rubber SKD-V BF, SKD-V GF, SKD-V CF, SKD-V BF with a d. m., SKD-V GF with a d. m., SKD-V CF with a d. m.

- обработка армирующей ткани РС приводит к повышению адгезии между эластомером и УТ в 3 раза;
- упругопрочностные испытания показали незначительное снижение эластичности материалов и повышение прочностных свойств в 1,3–1,7 раза у образцов с БТ и УТ, обработанных РС, а у композитов с СТ наблюдается снижение показателя прочности;
- образование поверхностного слоя из РС на армирующих тканях приводит к ухудшению из-

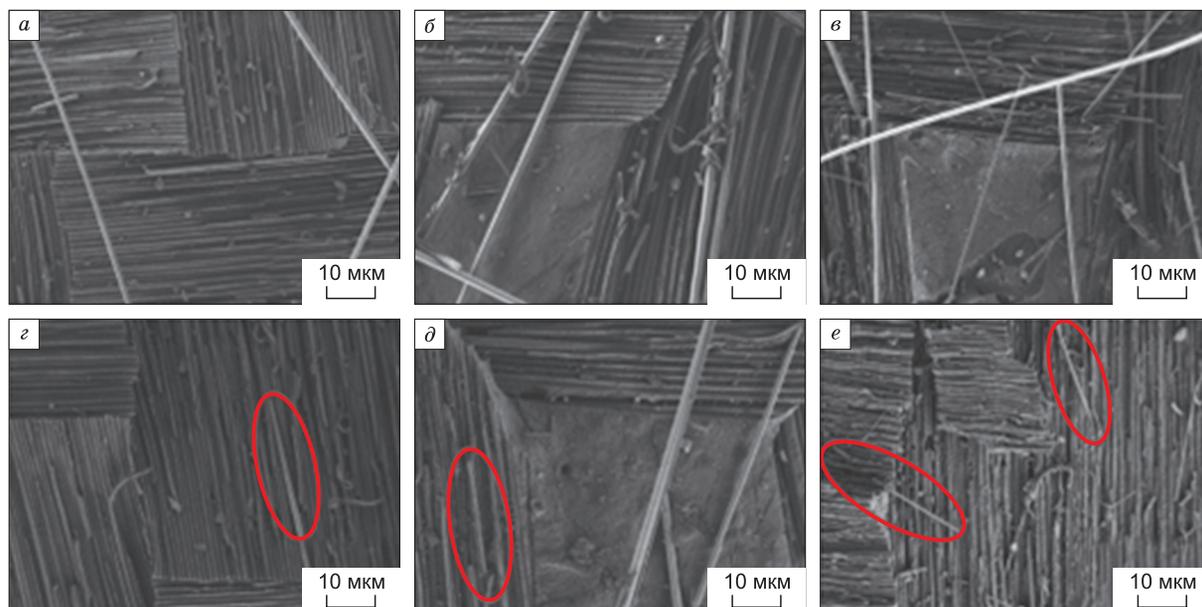


Рис. 8. Микрофотографии образцов после испытаний адгезии со стороны слоя эластомера: а – СКД-В с БТ; б – СКД-В с СТ; в – СКД-В с УТ; г – СКД-В с БТ/РС; д – СКД-В с СТ/РС; е – СКД-В с УТ/РС.

Fig. 8. Microphotographs of samples after adhesion tests from the elastomer layer: a) SKD-V BF; б) SKD-V GF; в) SKD-V CF; г) SKD-V BF with a d. m.; д) SKD-V GF with a d. m.; е) SKD-V CF with a d. m.

носостойкости за счет отрыва волокон с частями резины с основной эластомерной матрицы;

– микроструктурные исследования армированных эластомерных материалов показали, что армирующие ткани плотнее контактируют с поверхностью эластомера после обработки РС.

Таким образом, обработка поверхности армирующих наполнителей смесью фенолметана и полибутадиена оказывает влияние на упругопрочностные характеристики, твердость, износостойкость и повышает адгезионное взаимодействие между субстратом и адгезивом.

Литература / References

1. Сокольская М.К., Колосова А.С., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов А.С. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов. *Фундаментальные исследования*. 2017;10(2):290–295.

[Sokolskaya M.K., Kolosova A.S., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov A.S. Binders to obtain the modern polymer composite materials. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2017;10(2):290–295. (In Russ.)]

2. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов. *Фундаментальные исследования*. 2017;10(3):459–465.

[Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov A.S. Fillers to modify the modern polymer composite materials. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2017;10(3):459–465. (In Russ.)]

3. ИТС 32-2017. «Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых».

[ITS 32-2017. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam. Proizvodstvo polimerov, v tom chisle biorazlagaemykh. (In Russ.)]

4. Корнев А.Е., Бобров А.П., Кузин В.С., Звезденков К.А. Использование неодимовых каучуков в резинах протекторов и боковин шин. *Каучук и резина*. 2004;6:7–10.

[Kornev A.Y., Bobrov A.P., Kuzin V.S., Zvezdenkov K.A. The use of neodymium rubbers in tire treads and sidewalls. *Kauchuk i rezina*. 2004;6:7–10. (In Russ.)]

5. Алексеев А.Г. и др. *Большой справочник резинщика. Ч. 1. Резины и резинотехнические изделия*. Под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012; 735 с.

[Alekseev A.G. et al. *The big guide of the rubber worker. Part 1. Rubbers and rubber products*. Pod red. S.V. Reznichenko, Yu.L. Morozova. M.: ООО «Izdatelskiy tsentr «Tekhinform» MAI», 2012; 735 p. (In Russ.)]

6. Литвинов М.Ю. Анализ микроструктуры цис-бутадиеновых каучуков с помощью спектроскопии ЯМР. *Вестник современных исследований*. 2018; 9.1(24):2472–50.

[Litvinov M.Y. Analysis of the microstructure of cis-butadiene rubbers using NMR spectroscopy. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*. 2018; 9.1(24):247–250. (In Russ.)]

7. Ильин В.М., Резова А.К. Бутадиеновый каучук: мощности и фирменная структура производства в мире. *Каучук и резина*. 2015;5:46–51.

[Ilin V.M., Rezova A.K. Butadiene rubber: capacities and corporate structure of production in the world. *Kauchuk i rezina*. 2015;5:46–51. (In Russ.)]

8. Яковлев В.А., Гавриленко И.Ф., Бондаренко Г.Н., Чаусова О.В. Полимеризация бутадиена под влиянием неодимовых катализаторов, нанесенных на оксидные носители. *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*. 2006;48 (8):1519–1522.

[Yakovlev V.A., Gavrilenko I.F., Bondarenko G.N., Chausova O.V. Polymerization of butadiene initiated by neodymium catalysts applied on oxide supports. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya. Seriya B*. 2006;48(8):1519–1522. (In Russ.)]

9. Панкратьева У.В., Кудяков К.Л. Опыт применения стекловолокна и стеклокомпозитов для армирования бетонных конструкций. Томск: *Избранные доклады 65-й Юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Сборник докладов*; 2019:90–92.

[Pankratyeva U.V., Kudyakov K.L. Experience in the use of fiberglass and glass composites for reinforcing concrete structures. Tomsk: *Izbrannyye doklady 65-yu Yubileynoy universitetskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh. Sbornik докладov*; 2019:90–92. (In Russ.)]

10. Коренец А.М., Братошевская В.В. Использование углеволокна в современном строительстве. *Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 76-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2020 год*. Краснодар; 2021:99–100.

[Korenets A.M., Bratoshevskaya V.V. Use of carbon fiber in modern construction. Krasnodar: *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa. Sbornik statey po materialam 76-y nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov po itogam NIR za 2020 god*. Krasnodar; 2021: 99–100. (In Russ.)]

11. Сопин Д.М., Богусевич Г.Г., Богусевич В.А., Чэнь В. Армирование бетона дисперсным базальтовым волокном. *Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции*. Белгород; 2020:385–389.

[Sopin D.M., Bogusevich G.G., Bogusevich V.A., Chen V. Reinforcement of concrete with dispersed basalt fiber. *Nauka i innovatsii v stroitelstve: Sbornik докладov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Belgorod; 2020:385–389. (In Russ.)]

12. Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. *Композиционные материалы: Справочник*. М.: Машиностроение. 1990; 512 с.
[Vasilyev V.V., Protasov V.D., Bolotin V.V. *Composite materials: Reference*. M.: Mashinostroenie. 1990; 512 p. (In Russ.)]
13. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Балинова Ю.А. Перспективные армирующие высоко-температурные волокна для металлических и керамических композиционных материалов. *Труды ВИАМ*. 2013;(2).
[Kablov Ye.N., Shchetanov B.V., Ivakhnenko Yu.A., Balinova Yu.A. Perspective reinforcing high-temperature fibres for metal and ceramic composite materials. «*Trudy VIAM*» («*Proceedings of VIAM*»). 2013;(2). (In Russ.)]
14. Курносов А.О., Мельников Д.А., Соколов И.И. Стеклопластики конструкционного назначения для авиастроения. *Труды ВИАМ*. 2015;(8):55–59.
[Kurnosov A.O., Melnikov D.A., Sokolov I.I. Fiberglass for structural purposes for the aircraft industry. *Trudy VIAM* («*Proceedings of VIAM*»). 2015;(8):55–59. (In Russ.)]
15. Озкан С.Ж., Карпачева Г.П., Дзидзигури Э.Л., Чернавский П.А., Бондаренко Г.Н. Полимер-металл-углеродные наноматериалы на основе поли-3-амино-7-метиламино-2-метилфеназина и наночастиц магнетита, закрепленных на одностенных углеродных нанотрубках. *V Международная конференция-школа по химической технологии: сборник тезисов докладов сателлитной конференции «XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии*. Волгоград; 2016: 70–73.
[Ozkan S.Zh., Karpacheva G.P., Dzidziguri E.L., Chernavskiy P.A., Bondarenko G.N. Polymer-metal-carbon nanomaterials based on poly-3-amino-7-methylamino-2-methylphenazine and magnetite nanoparticles fixed on single-walled carbon nanotubes. *V Mezhdunarodnaya konferentsiya-shkola po khimicheskoy tekhnologii: sbornik tezisev dokladov satelitnoy konferentsii «KhKh Mendeleevskogo sezda po obshchey i prikladnoy khimii*. Volgograd; 2016:70–73. (In Russ.)]
16. Дьяконов А.А., Аммосов С.С., Тарасова П.Н., Охлопкова А.А., Слепцова С.А., Петрова Н.Н., Кычкин А.К., Кычкин А.А., Туйсов А.Г. Исследование композиционных полимерных материалов армированных базальтовой тканью. *Ползуновский вестник*. 2021;(2):175–181. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.024.
[Dyakonov A.A., Ammosov S.S., Tarasova P.N., Okhlopko A.A., Sleptsova S.A., Petrova N.N., Kichkin A.K., Kichkin A.A., Tuisov A.G. Research of composite polymer materials reinforced with basalt fabric. *Polzunovskiy vestnik*. 2021;(2):175–181. (In Russ.)] DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.024.
17. Молчанов Б.И., Гудимов М.М. Свойства углепластиков и области их применения. *Авиационная промышленность*. 1997;(3–4):58–60.
[Molchanov B.I., Gudimov M.M. Properties of carbon fiber plastics and their applications. *Aviation History*. 1997;(3-4):58–60. (In Russ.)]
18. Тростянская Е.Б. *Армированные пластики. Справочное пособие*. Под ред. Г.С. Головкина, В.И. Семенова. М.: МАИ; 1997; 268 с.
[Trostyanskaya Y.B. *Reinforced plastics. Reference manual*. Pod red. G.S. Golovkina, V. I. Semenova. Moscow: MAI; 1997; 268 p. (In Russ.)]
19. Ибатуллина А.Р. Обзор производителей и сравнение свойств сверхпрочных высокомодульных волокон. *Вестник Казанского технологического университета*. 2014;17(19):136–139.
[Ibatullina A.R. Overview of manufacturers and comparison of properties of heavy-duty high-modulus fibers. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014; 17(19):136–139. (In Russ.)]
20. Гуняева А.Г., Сидорина А.И., Курносов А.О., Клименко О.Н. Полимерные композиционные материалы нового поколения на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей, альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind. И Toho Tenax. *Авиационные материалы и технологии*. 2018;3(52):18–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-18-26.
[Gunyaeva A.G., Sidorina A.I., Kurnosov A.O., Klimenko O.N. Polymeric composite materials of new generation on the basis of binder vse-1212 and the filling agents alternative to ones of Porcher Ind. And Toho Tenax. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii*. 2018;3(52):18–26. (In Russ.)] DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-18-26.
21. Симамура С., Синдо А., Коцука К. *Углеродные волокна*. Пер. с яп. Ю. М. Товмасыяна. Под ред. Э.С. Зеленского. М.: Мир; 1987; 304.
[Simamura S., Sindo A., Kotsuka K. *Carbon fibers*. Per. s yap. Yu. M. Tovmasyana. Pod red. E. S. Zelenskogo. Moscow: Mir; 1987; 304. (In Russ.)]
22. Huang X. Fabrication and Properties of Carbon Fibers. *Materials*. 2009; 2(4): 2369–2403. DOI:10.3390/ma2042369.
23. Newcomb B.A. Processing, structure, and properties of carbon fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2016;91:262–282.
24. Dalinkevich A.A., Gumargalieva K.Z., Sukhanov A.V., Aseev A.V. *COBRAE Conference «Bridge engineering with Polymer Composites»*. Dubendorf: EMPA; 2005.
25. Калинин В.А., Макаров М.С. *Намотанные стеклопластики*. М.: Химия; 1986; 268.
[Kalinchev V.A., Makarov M.S. *Wound fiberglass*. Moscow: Khimiya; 1986; 268. (In Russ.)]
26. Асланова М.С., Колесов Ю.И., Хазанов В.Е. *Стекланные волокна*. М.: Химия; 1979; 597 с.
[Aslanova M.S., Kolesov Y.I., Khazanov V.Y. *Glass Fibers*. Moscow: Khimiya; 1979; 597 p. (In Russ.)]
27. Пашенко А.А., Сербин В.П., Паславская А.П., Глуховский В.В., Бирюкович Ю.Л., Солодовник А.Б. *Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами*. М.: Стройиздат; 1988; 200 с.

[Pashchenko A.A., Serbin V.P., Paslavskaya A.P., Glukhovskiy V.V., Biryukovich Yu.L., Solodovnik A.B. *Reinforcement of inorganic binders with mineral fibers*. М.: Stroyizdat; 1988; 200 p. (In Russ.)]

28. Бабаевский П.Г. *Пластики конструкционного назначения (реактопласты)*. Под ред. Е. Б. Тростянской. Москва: Химия. 1974; 303 с.

[Babayevskiy P.G. *Structural plastics (reactoplasts)*. Pod red. Y. B. Trostyanskoj. Moscow: Khimiya, 1974; 303 p. (In Russ.)]

29. Мелешко А.И., Половников С.П. *Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты*. М.: САЙНС-ПРЕСС; 2007; 92 с.

[Meleshko A.I., Polovnikov S.P. *Carbon, Carbon fibers, carbon composites*. М.: SAYNS-PRESS; 2007; 92 p. (In Russ.)]

30. Etcheverry M., Barbosa S.E. Glass Fiber Reinforced Polypropylene Mechanical Properties Enhancement by Adhesion Improvement. *Materials*. 2012;5(12): 1084–1113. DOI:10.3390/ma5061084.

31. Авторское свидетельство № 326775 СССР, МПК С08Л 9/04, С08К 5/04, С08К 5/20. Способ повышения адгезии стекловолокна к резинам:

№ 1345942/23-5 : заявл. 07.07.1969 : опубл. 19.01.1972 / М. Кунио, Н. Сабура, О. Сатору [и др.].

[Avtorskoe svidetelstvo № 326775 SSSR, МПК С08Л 9/04, С08К 5/04, С08К 5/20. Sposob povysheniya adgezii steklovolokna k rezinam: № 1345942/23-5: zayavl. 07.07.1969 : opubl. 19.01.1972 / М. Kunio, N. Sabure, O. Satoru [et al.]. (In Russ.)]

32. Cech V., Knob A., Hosein H.A., Babik A., Lepcio P., Ondreas F., Drzal L.T. Enhanced interfacial adhesion of glass fibers by tetravinylsilane plasma modification. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2014;58:84–89. DOI:10.1016/j.compositesa.2013.12.003.

33. Мухин В.В., Петрова Н.Н., Капитонов Е.А., Афанасьев А.В. Разработка стойких к авиационным синтетическим маслам резин на основе смесей нитрильных и диеновых каучуков. *Вестник СВФУ*. 2016;6(56):41–50.

[Mukhin V.V., Petrova N.N., Kapitonov E.A., Afanasyev A.V. Development of aircraft synthetic oil resistant rubbers based on mixture of nitrile and diene rubbers. *Vestnik SVFU*. 2016;6(56):41–50. (In Russ.)]

Об авторах

¹МАРКОВ Айтал Еремеевич, инженер-исследователь, <https://orcid.org/0000-0001-6853-6758>, Researcher ID: ACF-8819-2022, e-mail: aital.markov@gmail.com

¹КОПЫРИН Михаил Михайлович, младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-6018-6391>, Researcher ID: AAI-8876-2021, e-mail: mkopyrin91@gmail.com

^{1,2}ДЬЯКОНОВ Афанасий Алексеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>, Researcher ID: E-5710-2014, e-mail: afonya71185@mail.ru

¹ТУИСОВ Алексей Геннадьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-6819-1937>, Researcher ID: ABA-4930-2020, tuisovag@gmail.com

²ОХЛОПКОВА Айтилина Алексеевна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>, Researcher ID: A-6594-2014, okhlopkova@yandex.ru

²ЛАЗАРЕВА Надежда Николаевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, зав. лаб., <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>, Researcher ID: E-5063-2014, lazareva-nadia92@mail.ru

Аффилиация

¹Якутский научный центр СО РАН, Лаборатория композиционных материалов Арктики Субарктики, 677000, г. Якутск, ул. Петровского, 2, Российская Федерация

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Институт естественных наук, 677000, г. Якутск, ул. Белинского 58, Российская Федерация

About the authors

¹MARKOV, Aital Eremeevich, Research Engineer, <https://orcid.org/0000-0001-6853-6758>, Researcher ID: ACF-8819-2022, e-mail: aital.markov@gmail.com

¹KOPYRIN, Mikhail Mikhailovich, Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-6018-6391>, Researcher ID: AAI-8876-2021, e-mail: mkopyrin91@gmail.com

^{1,2}DYAKONOV, Afanasy Alekseevich, Cand. Sci. (Engineering), Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>, Researcher ID: E-5710-2014, e-mail: afonya71185@mail.ru

A. E. Markov et al. ♦ Surface treatment of reinforcing fillers with a mixture of phenylmethane and polybutadiene...

¹TUISOV, Aleksei Gennadevich, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-6819-1937>, Researcher ID: ABA-4930-2020, e-mail: tuisovag@gmail.com

²OKHLOPKOVA, Aitalina Alekseevna, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>, Researcher ID: A-6594-2014, e-mail: okhlopkova@yandex.ru

²LAZAREVA, Nadezhda Nikolaevna, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher, Head of the Laboratory, <http://orcid.org/0000-0001-5090-0793>, Researcher ID: E-5063-2014, e-mail: lazareva-nadia92@mail.ru

Affiliation

¹The Yakut Scientific Centre Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Composite Materials of the Arctic Subarctic, 2 Petrovskogo st., Yakutsk 677000, Russian Federation

²Ammosov North-Eastern Federal University, Institute of Natural Science, 58 Belinsky st., Yakutsk 677000, Russian Federation

Поступила в редакцию / Submitted 22.06.2022

Поступила после рецензирования / Revised 19.07.2022

Принята к публикации / Accepted 03.08.2022