




Исследование совместимости пластифицирующих добавок на основе вторичного нефтехимического сырья с эластомерной матрицей

Анастасия В. Лешкевич	¹	nastyonke@mail.ru	 0000-0001-6218-1984
Жанна С. Шашок	¹	shashok@belstu.by	 0000-0003-2279-6866
Николай Р. Прокопчук	¹	pcm@belstu.by	 0000-0001-7290-1199
Елена П. Усс	¹	uss@belstu.by	 0000-0003-2849-6004
Ольга В. Карманова	²	karolga@mail.ru	 0000-0003-2226-6582






¹ Белорусский государственный технологический университет, ул. Сверлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Исследована совместимость полиизопренового каучука СКИ-3 с пластифицирующими добавками на основе вторичного нефтехимического сырья (ДВЧ, ДВЧ с модифицирующей присадкой (МП) в количестве 0,5; 1,0; 2,5; 5,0 и 10,0% мас.) в сравнении с промышленными нефтяными маслами (ПН-6 и И-20). Совместимость полимера с пластифицирующей добавкой оценивалась на основании экспериментальных данных по методу равновесного набухания. В результате был определен параметр, характеризующий взаимодействие каучука с пластификатором (параметр Хаггинса), и коэффициент диффузии пластифицирующих компонентов в объеме полимера. Сравнительный анализ данных показал, что пластифицирующий компонент на основе вторичного нефтехимического сырья ДВЧ обладает лучшей совместимостью с эластомерной матрицей по сравнению с промышленными маслами ПН-6 и И-20. Установлено, что применение модифицирующей присадки в количестве 0,5 и 1,0% мас. приводит к увеличению коэффициента диффузии и снижению параметра Хаггинса по сравнению с ДВЧ в индивидуальном виде, что свидетельствует о лучшей их совместимости с каучуком СКИ-3. Показано, что дальнейшее увеличение содержания модифицирующей присадки (свыше 1,0% мас.) в объеме пластифицирующего компонента ДВЧ нецелесообразно, так как это приводит к ухудшению исследуемых параметров, и, как следствие, к худшей совместимости с эластомером.

Ключевые слова: каучук, пластифицирующий компонент, совместимость, нефтяные масла, параметр Хаггинса, коэффициент диффузии

Compatibility study of plasticizing additives based on recycled raw materials in the petrochemical with elastomer matrix

Anastasiya V. Leshkevich	¹	nastyonke@mail.ru	 0000-0001-6218-1984
Zhanna S. Shashok	¹	shashok@belstu.by	 0000-0003-2279-6866
Nikolay R. Prokopchuk	¹	pcm@belstu.by	 0000-0001-7290-1199
Elena P. Uss	¹	uss@belstu.by	 0000-0003-2849-6004
Olga V. Karmanova	²	karolga@mail.ru	 0000-0003-2226-6582

¹ Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The compatibility of SRI-3 polyisoprene rubber with plasticizing additives based on recycled petrochemical raw materials (DVCH, DVCH with modifying additive (MA) in the amount of 0.5; 1.0; 2.5; 5.0 and 10.0% mas.) in comparison with industrial petroleum oils (PO-6 and I-20). The compatibility of polymer with a plasticizer additive was evaluated by of experimental data using the equilibrium swelling method. As a result, the polymer-plasticizer interaction parameter (Huggins parameter) and the diffusion coefficient of plasticizing components in the polymer volume were determined. Analysis of the experimental data showed that the plasticizer component based on recycled petrochemical raw materials DVCH has better compatibility with the elastomer matrix SRI-3 compared to industrial oils PO-6 and I-20. Was established that the use of modifying additives in the amount of 0.5 and 1.0% mas. leads to an increase in the diffusion coefficient and a decrease in the Huggins parameter in comparison with DVCH in individual form. It indicates their better compatibility with rubber SRI-3. Was shown that a further increase in the content of modifying additive (more than 1.0% mas.) in the volume of plasticizing component DVCH is impractical. This leads to a deterioration of the parameters, and, as a result, to a worse compatibility with the elastomer.

Keywords: rubber, plasticizer component, compatibility, petroleum oils, Huggins parameter, diffusion coefficient

Для цитирования

Лешкевич А.В., Шашок Ж.С., Прокопчук Н.Р., Усс Е.П., Карманова О.В. Исследование совместимости пластифицирующих добавок на основе вторичного нефтехимического сырья с эластомерной матрицей // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 4. С. 190–195. doi:10.20914/2310-1202-2019-4-190-195

For citation

Leshkevich A.V., Shashok Zh.S., Prokopchuk N.R., Uss E.P., Karmanova O.V. Compatibility study of plasticizing additives based on recycled raw materials in the petrochemical with elastomer matrix. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 4. pp. 190–195. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-4-190-195

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Пластификация является одним из способов модификации полимеров и связана с введением в них низкомолекулярных или олигомерных веществ, в результате чего улучшаются эластические и пластические свойства, а также морозостойкость. Важнейшим фактором, определяющим эксплуатационные свойства пластифицированных материалов, является совместимость входящих в их состав полимеров и пластификаторов. Совместимостью, по существу, определяется возможность использования того или иного вещества в качестве пластификатора [1].

На практике в резиновой промышленности пластификатор вводят в полимер путем принудительного смешения компонентов в смесительном оборудовании. При этом происходит молекулярное диспергирование добавки. Если пластификатор не имеет сродства к полимеру, то со временем при хранении или эксплуатации происходит расслаивание системы с образованием капелек – это коллоидное диспергирование. При превышении предела совместимости полимера и пластификатора избыток последнего выделится из системы на поверхность [2].

По общепринятому механизму пластификация растворимой в полимере добавкой осуществляется путем диффузии низкомолекулярных веществ между макромолекулами (набуханием) с разрушением любых полимерных структур. Такая пластификация называется внутрискруктурной (или пачечной). Если пластификатор является плохим растворителем полимера и ограниченно с ним совместим, то его молекулы проникают только в межструктурные пространства полимера и пластификация называется межструктурной (или межпачечной) [2–3].

В настоящее время в качестве пластификаторов в резиновой промышленности находят широкое применение нефтяные масла, самыми распространенными из которых являются – ПН-6 и И-20. Это обусловлено тем, что они позволяют в широких пределах изменять свойства резиновых смесей, резин и изделий при эксплуатации, а также обладают относительно невысокой стоимостью получаемых продуктов.

Нефтяные масла, являющиеся продуктами нефтепереработки, представляют основную массу олигомерных добавок, применяемых при переработке эластомеров. Потребление нефтяных масел достигает 10–15% от общего потребления каучуков. Введение нефтяных масел позволяет уменьшить затраты энергии на смешение каучуков с ингредиентами, понизить температуру переработки резиновых смесей, улучшить технологические свойства смесей при шприцевании,

каландровании и при изготовлении резиновых технических деталей методом литья. Кроме того, нефтяные масла применяют в качестве инертных разбавителей, которые при дозировке 20–50 мас. ч. уменьшают стоимость резиновых смесей на 10–15%.

Однако в связи с недостатком нефтепродуктов большое внимание уделяется переработке отработанного масла с целью дальнейшего использования продуктов на его основе в промышленности [4–5].

Создание альтернативных продуктов для эластомеров на основе вторичного нефтехимического сырья является актуальной тенденцией в развитии резиновой промышленности. Это направление включает в себя разработку технологии их изготовления и удобной выпускной формы, а также испытание полученных добавок в резинах на основе каучуков общего и специального назначения. Решение данных задач позволит уменьшить нагрузку на окружающую природную среду за счет использования в технологическом цикле продуктов, полученных при переработке отходов, получать экологически безопасные добавки, замещающие аналогичные на основе нефтехимического сырья, а также улучшить технологические свойства резиновых смесей при сохранении и / или повышении необходимого уровня физико-механических показателей [6].

Цель работы – исследование совместимости изопренового каучука (СКИ-3) с пластифицирующими добавками на основе вторичного нефтехимического сырья (ДВЧ, ДВЧ с модифицирующей присадкой (в количестве 0,5; 1,0; 2,5; 5,0 и 10,0% мас. МП) в сравнении с промышленными маслами И-20 и ПН-6.

Материалы и методы

Исследуемый пластифицирующий компонент ДВЧ производства ИООО «ДВЧ-Менеджмент» представляет собой сложную смесь углеводов (таблица 1).

В работах [7–9] предлагалось оценивать совместимость пластификатора с полимером по параметру растворимости, определенному методом равновесного набухания.

Исследование совместимости изопренового каучука СКИ-3 с различными пластифицирующими компонентами осуществлялось при температуре 70 °С до установления сорбционного равновесия [10]. На основании полученных результатов был определен параметр, характеризующий взаимодействие каучука с пластификатором (параметр Хаггинса), а также коэффициент диффузии пластифицирующих компонентов в объеме полимера.

Таблица 1.

Физико-химическая характеристика исследуемых пластифицирующих компонентов

Table 1.

Physical-chemical characteristics of plasticizing components

Свойства Properties	Исследуемый компонент ДВЧ Monitoring component DVCH	Промышленный компонент И-20 Industrial component I-20	Промышленный компонент ПН-6 Industrial component OP-6
Плотность при 20 °С, г/см ³ Density at 20 °С, g/cm ³	880–885	890	960
Вязкость кинематическая, при 40 °С, сСт Coefficient of kinematic viscosity at 40 °С, cSt	55–60	29–35	35–40
Кислотное число, мг КОН/г, не более Acidity index, mg KOH/g, not more than	0–4*	0,03	–
Температура вспышки, °С, не ниже Flash Temperature, °С, not less	195–210	200	265
Температура потери текучести, °С, не выше Pour point, °С, not more than	-23÷ -30	-15	-36

В работах [7–9] предлагалось оценивать совместимость пластификатора с полимером по параметру растворимости, определенному методом равновесного набухания.

Исследование совместимости изопренового каучука СКИ-3 с различными пластифицирующими компонентами осуществлялось при температуре 70 °С до установления сорбционного равновесия [10]. На основании полученных результатов был определен параметр, характеризующий взаимодействие каучука с пластификатором (параметр Хаггинса), а также коэффициент диффузии пластифицирующих компонентов в объеме полимера.

Параметр Хаггинса (χ) для каждого образца вычислялся по формуле Крауса, предполагающей линейную зависимость между χ и объемной долей каучука в набухшем полимере (V_r) [11].

$$\chi = 0,37 + 0,52 \cdot V_r,$$

где V_r – объемная доля каучука в набухшем полимере;

$$V_r = \frac{1}{\frac{\rho_k}{\rho_{nl}} \cdot \left(W_s - \frac{W_u}{W_s} \right) + 1},$$

где ρ_k – плотность каучука СКИ-3, г/см³; ρ_{nl} – плотность исследуемого пластифицирующего компонента, г/см³; W_s – масса набухшего каучука, г; W_u – масса ненабухшего каучука, г.

Для определения коэффициента диффузии пластифицирующих компонентов в объеме полимера рассчитывалось изменение массы образца после испытания (ΔW) [9]:

$$\Delta W = \frac{(W_s - W_u) \cdot 100}{W_u}.$$

За результат испытаний принималось среднее арифметическое не менее пяти определений.

По полученным результатам строилась графическая зависимость $\Delta W = f(\tau)$, и исходя из графика определялось время, за которое произошло увеличение массы образца до величины $W_{\max}/2$.

Коэффициент диффузии пластифицирующего компонента в объеме полимера D , см²/с, определялся по формуле [9]:

$$D = 0,0494 \cdot \left(\frac{\tau_0}{\delta} \right)^{-1},$$

где τ_0 – время, за которое произошло увеличение массы образца до $W_{\max}/2$, с; W_{\max} – масса испытуемого образца при установившемся сорбционном равновесии, г; δ – толщина образца, см.

Результаты и обсуждение

Параметр Хаггинса зависит от молекулярной массы полимера и свойств системы «полимер-растворитель» и может служить характеристикой интенсивности их взаимодействия. Данный параметр также называют вискозиметрической константой Хаггинса. Значение данного показателя позволяет оценить степень сродства между полимером и растворителем. В работах [12–13] показано, что значение параметра возрастает с ухудшением термодинамического качества растворителя и уменьшается с понижением температуры. Увеличение константы Хаггинса при «ухудшении» качества растворителя обуславливается возрастанием числа случайных контактов макромолекул [14].

На рисунке 1 представлены значения параметров Хаггинса, характеризующих взаимодействие каучука СКИ-3 с исследуемыми пластифицирующими компонентами.

На основании полученных данных выявлено, что каучук с пластифицирующими компонентами ДВЧ, ДВЧ + 0,5% МП и ДВЧ + 1,0% МП имеет меньшие значения параметра, характеризующего их взаимодействие, по сравнению с ПН-6 и И-20, что обуславливает лучшую их совместимость [14]. Так, значения константы Хаггинса для ДВЧ, ДВЧ + 0,5% МП и ДВЧ + 1,0% МП находятся в пределах 0,64–0,66, а для ПН-6 и И-20 составляют 0,73 и 0,69 соответственно.

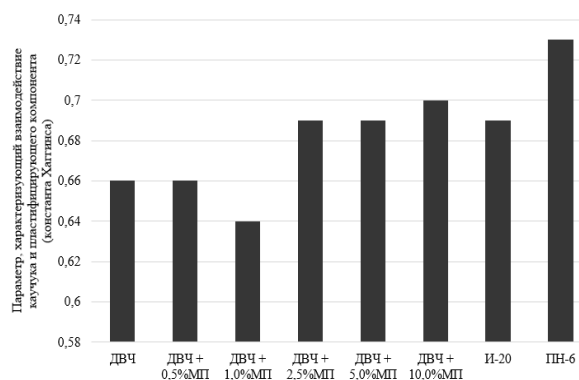


Рисунок 1. Зависимость параметра Хаггинса от природы пластифицирующей добавки

Figure 1. The dependence of Huggins parameter on nature of the plasticizer

Некоторое снижение данного показателя для ДВЧ, содержащего 1,0% МП, по сравнению с ДВЧ в индивидуальном виде, вероятно,

обусловлено повышением подвижности части отрезков несшитых цепей между узлами зацеплений флуктуационной сетки при введении небольшого количества модифицирующей присадки. В этом случае следствием ускорения релаксации напряжений в отрезках цепей между узлами сетки окажется более равномерное нагружение всей флуктуационной сетки и повышение сопротивления образца течению (т. е. его вязкости) [11]. Дальнейшее увеличение содержания модифицирующей присадки свыше уже 1,0% приводит к ухудшению взаимодействия каучука с пластификатором. Так, значения параметра Хаггинса для ДВЧ + 2,5% МП; ДВЧ + 5,0% МП и ДВЧ + 10,0% МП находятся в пределах 0,69–0,70.

В таблице 2 представлены значения коэффициентов диффузии исследуемых пластифицирующих компонентов в каучуке СКИ-3.

Таблица 2.

Коэффициент диффузии пластифицирующих компонентов в объеме каучука СКИ-3

Table 2.

The diffusion coefficient of plasticizing components in the volume of rubber SRI-3

Пластифицирующий компонент Plasticizing component	Коэффициент диффузии, м ² /с Diffusion coefficient, m ² /s
ДВЧ DVCH	3,16 · 10 ⁻¹¹
ДВЧ + 0,5% МП DVCH + 0,5% МА	3,17 · 10 ⁻¹¹
ДВЧ + 1,0% МП DVCH + 1,0% МА	3,26 · 10 ⁻¹¹
ДВЧ + 2,5% МП DVCH + 2,5% МА	3,07 · 10 ⁻¹¹
ДВЧ + 5,0% МП DVCH + 5,0% МА	3,04 · 10 ⁻¹¹
ДВЧ + 10,0% МП DVCH + 10,0% МА	3,04 · 10 ⁻¹¹
И-20 I-20	3,01 · 10 ⁻¹¹
ПН-6 PO-6	3,00 · 10 ⁻¹¹

Сравнительный анализ данных показал, что пластифицирующий компонент на основе вторичного нефтехимического сырья ДВЧ обладает несколько большим коэффициентом диффузии в объеме полимера по сравнению с И-20 и ПН-6. Так, значение данного показателя для ДВЧ составляет 3,16 · 10⁻¹¹ м²/с, а для И-20 и ПН-6 – 3,01 · 10⁻¹¹ м²/с и 3,00 · 10⁻¹¹ м²/с соответственно. При введении в объем пластифицирующего компонента модифицирующей присадки в количестве 0,5 и 1,0% мас. выявлено увеличение исследуемого параметра. Так, коэффициент диффузии для ДВЧ + 0,5% МП и ДВЧ + 1,0% МП составляет 3,17 · 10⁻¹¹ м²/с и 3,26 · 10⁻¹¹ м²/с соответственно. При увеличении содержания модифицированной присадки свыше 1,0% мас. определено снижение коэффициента диффузии, что свидетельствует о худшей совместимости полимера с исследуемыми пластифицирующими компонентами ДВЧ + 2,5% МП, ДВЧ + 5,0% МП и ДВЧ + 10,0% МП. Полученные данные по коэффициентам диффузии коррелируют со

значениями константы Хаггинса, полученными для данных систем.

Заключение

Результаты исследования совместимости пластифицирующих добавок на основе вторичного нефтехимического сырья с эластомерной матрицей показали, что ДВЧ в индивидуальном виде обладает лучшей совместимостью с эластомерной матрицей по сравнению с промышленными маслами ПН-6 и И-20. Установлено, что применение модифицирующей присадки в количестве 0,5 и 1,0% мас. приводит к увеличению коэффициента диффузии и снижению параметра Хаггинса по сравнению с ДВЧ в индивидуальном виде, что свидетельствует о лучшей их совместимости с каучуком СКИ-3. Определено, что дальнейшее увеличение содержания модифицирующей присадки (свыше 1,0% мас.) в объеме пластифицирующего компонента ДВЧ нецелесообразно, так как это приводит к ухудшению исследуемых параметров, и, как следствие, к худшей совместимости с эластомером.

Литература


- 1 Печерский Г.Г., Приходько И.В., Неверов А.С. Создание и исследование полимерных антикоррозионных композиционных материалов // Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2011): тезисы докладов международной научно-технической конф. Гомель: ИММС НАН Б, 2011.
- 2 Шутилин Ю.Ф. Физикохимия полимеров. Воронеж: ВГТА, 2012. 838 с.
- 3 Тихомиров С.Г., Карманова О.В., Скачков А.М., Дьяков А.А. Моделирование технологических свойств полимерной композиции с выделением доминирующего компонента // Промышленное производство и использование эластомеров. 2015. № 3. С. 16–18.
- 4 Радбиль А.Б., Щепалов А.А., Долинский Т.И., Куимов А.Ф. и др. Новая концепция канцерогенной безопасности для современных шин // Каучук и резина. 2013. № 2. С. 42–47.
- 5 Саркисов О.Р. Экологическая безопасность и эколого-правовые проблемы в области загрязнения окружающей среды. Москва: Юнити-Дана, 2012. 125 с.
- 6 Резниченко С.В., Морозов Ю.Л. Большой справочник резинщика: в 2 ч. Ч. 1: Резины и резино-технические изделия. М.: Техинформ, 2012. 744 с.
- 7 Radhakrishnan S., Vijayalakshmi R., Talawar M.B., Arvind K. et al. Screening of polymer-plasticizer systems for propellant binder applications: an experimental and simulation approach // Journal of Energetic Materials. 2019. doi: 10.1080/07370652.2019.1615581
- 8 Широкова Е.С., Фомин С.В. Массоперенос дибутилсебацата в вулканизаты на основе бутадиен-нитрильных и бутадиен-метилстирольных каучуков // Вестник МИТХТ. 2009. Т. 4. № 4. С. 97–100.
- 9 Широкова Е.С., Фомин С.В. Изучение массопереноса сложноэфирного пластификатора в вулканизатах на основе бутадиен-нитрильных каучуков // Вестник Казанского технологического университета. 2008. С. 100–103.
- 10 ГОСТ 12020.72. Пластмассы. Методы определения стойкости к действию химических сред. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1973. 26 с.
- 11 Аверко-Антонович И.Ю., Бикмуллин Р.Т. Методы исследования структуры и свойств полимеров. Казань: КГТУ, 2002. 604 с.
- 12 Bechekh K., Ghaouar N. Rheological Properties of Polyethylene Glycol (PEG 35000): An Interpretation of a Negative Intrinsic Viscosity and a High Huggins Coefficient Value // Journal of Macromolecular Science: Part B – Physics, 2014. V. 53. doi: 10.1080/00222348.2013.810105.
- 13 Hamidi N. Characteristics of Poly(3,5 – Dimethylphenylacrylate) in Ethyl Acetate at 25 and 30 °C // Journal of Macromolecular Science: Part B – Physics. 2014. V. 53. doi: 10.1080/00222348.2013.874311
- 14 Marani D., Hjelm J., Wandel M. Use of Intrinsic Viscosity for Evaluation of Polymer-Solvent Affinity // Annual transactions of the nordic rheology society. 2013. V. 21. P. 255–262.

References

- 1 Pecherskiy G.G., Prihod'ko I.V., Neverov A.S. Creation and research of polymeric anticorrosive composite materials. Polymer composites and tribology (POLIKOMTRIB-2011): abstracts of international scientific and technical conf. Gornel, 2011. (in Russian).
- 2 Shutilin Yu.F. Physico-chemistry of polymers. Voronezh, VSUET, 2012. 838 p. (in Russian).
- 3 Tikhomirov S.G., Karmanova O.V., Skachkov A.M., Dyakov A.A. Modeling the technological properties of the polymer composition with the selection of the dominant component. Industrial production and use of elastomers. 2015. no. 3. pp. 16–18. (in Russian).
- 4 Radbil A.B., Schepalov A.A., Dolinsky T.I. New concept of carcinogenic safety for modern tires. Kauchuk and Rubber. 2013. no. 2. pp. 42–47. (in Russian).
- 5 Sarkisov O.R. Environmental safety and environmental legal problems in the field of environmental pollution. Moscow, Unity-Dana, 2012. 125 p. (in Russian).
- 6 Reznichenko S.V., Morozov Yu.L. Large handbook of rubber technologist. Part 1: Rubber and rubber products. Moscow, Tekhinform, 2012. 744 p. (in Russian).
- 7 Radhakrishnan S., Vijayalakshmi R., Talawar M.B., Arvind K. et al. Screening of polymer-plasticizer systems for propellant binder applications: an experimental and simulation approach. Journal of Energetic Materials. 2019. doi: 10.1080/07370652.2019.1615581
- 8 Shirokova E.S., Fomin S.V. Mass transfer of dibutyl sebacate to vulcanizates based on butadiene-nitrile and butadiene-methyl styrene rubbers. Bulletin of MIFChT. 2009. vol. 4. no. 4. pp. 97–100. (in Russian).
- 9 Shirokova E.S., Fomin S.V. Studying of mass transfer of ester plasticizer in vulcanizates based on butadiene-nitrile rubbers. Bulletin of Kazan Technological University. 2008. pp. 100–103. (in Russian).
- 10 GOST 12020.72. Plastics Methods for determining the resistance to chemical environments. Moscow, USSR State Committee on Standards, 1973. 26 p. (in Russian).
- 11 Averko-Antonovich I.Yu., Bikmullin R.T. Methods for studying the structure and properties of polymers. Kazan, KSTU, 2002. 604 p. (in Russian).
- 12 Bechekh K., Ghaouar N. Rheological Properties of Polyethylene Glycol (PEG 35000): An Interpretation of a Negative Intrinsic Viscosity and a High Huggins Coefficient Value. Journal of Macromolecular Science: Part B – Physics, 2014. vol. 53. doi: 10.1080/00222348.2013.810105
- 13 Hamidi N. Characteristics of Poly(3,5 – Dimethylphenylacrylate) in Ethyl Acetate at 25 and 30 °C. Journal of Macromolecular Science: Part B – Physics. 2014. vol. 53. doi: 10.1080/00222348.2013.874311
- 14 Marani D., Hjelm J., Wandel M. Use of Intrinsic Viscosity for Evaluation of Polymer-Solvent Affinity. Annual transactions of the nordic rheology society. 2013. vol. 21. pp. 255–262.

Сведения об авторах


Анастасия В. Лешкевич аспирант, кафедра полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, nastyonke@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6218-1984>

Жанна С. Шашок к.т.н., доцент, кафедра полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, shashok@belstu.by

 <https://orcid.org/0000-0003-2279-6866>

Николай Р. Прокопчук д.х.н., профессор, кафедра полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, pcm@belstu.by

 <https://orcid.org/0000-0001-7290-1199>

Елена П. Усс к.т.н., старший преп., кафедра полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, uss@belstu.by

 <https://orcid.org/0000-0003-2849-6004>

Ольга В. Карманова д.х.н., зав. кафедрой, кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, karolga@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2226-6582>

Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors


Anastasiya V. Leshkevich graduate student, polymer composite materials department, Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus, nastyonke@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6218-1984>

Zhanna S. Shashok Cand. Sci. (Engin.), associate professor, polymer composite materials department, Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus, shashok@belstu.by

 <https://orcid.org/0000-0003-2279-6866>


Nikolay R. Prokopchuk Dr. Sci. (Chem.), professor, polymer composite materials department, Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus, pcm@belstu.by

 <https://orcid.org/0000-0001-7290-1199>

Elena P. Uss Cand. Sci. (Engin.), polymer composite materials department, Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus, uss@belstu.by

 <https://orcid.org/0000-0003-2849-6004>

Olga V. Karmanova Dr. Sci. (Chem.), head of department, chemistry and chemical technology of organic compounds and polymers processing department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, karolga@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2226-6582>

Contribution

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/11/2019	После редакции 26/11/2019	Принята в печать 05/12/2019
Received 18/11/2019	Accepted in revised 26/11/2019	Accepted 05/12/2019