

УДК 678.074.678.762.2

Р. М. Долинская, Н. Р. Прокопчук

Белорусский государственный технологический университет

**ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СОВМЕСТИМОСТИ КОМПОЗИЦИЙ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ РЕЗИНОВАЯ КРОШКА – ПЛАСТИК**

Композиции на основе пластиков, наполненных резиновой крошкой, активно используются в мировой практике в качестве сырья, альтернативного вулканизируемым резинам, из которых традиционно изготавливают резинотехнические изделия.

По своему составу такие композиции аналогичны термоэластопластам, представляющим собой частицы сшитого каучука, распределенные в термопластичной матрице.

В качестве основных объектов исследования использовались полиолефины: полиэтилен высокого давления (ПЭВД) марки 10803-020 (ГОСТ 16337–77), Вилотерм (продукт, представляющий отходы ПЭВД разных марок) (ТУ 6-11-0203492-18–89), резиновая крошка на основе каучуков СКЭПТ и СКИ.

При выборе термопластов в первую очередь принимали во внимание доступность и низкую стоимость (все марки ПЭВД выпускаются в РБ), физико-механические характеристики, стойкость к воздействию различных агрессивных факторов в реальных условиях эксплуатации и технологичность при переработке композиций.

В результате проведенных исследований установлены концентрационные интервалы, в которых композиции характеризуются эксплуатационной совместимостью при сосуществовании двух фаз:
– резиновая крошка на основе каучука СКЭПТ-60 и полиэтилена (30–80 мас. % полиэтилена);
– резиновая крошка на основе каучука СКИ-3 и полиэтилена (30–70 мас. % полиэтилена).

Таким образом, термодинамическая несовместимость компонентов не является препятствием для создания эксплуатационно устойчивых полимерных композиций.

Ключевые слова: полиолефины, полиэтилен высокого давления, резиновая крошка на основе каучуков СКЭПТ и СКИ, термодинамическая несовместимость, эксплуатационно устойчивые полимерные материалы.

Для цитирования: Долинская Р. М., Прокопчук Н. Р. Оценка эксплуатационной совместимости композиций на основе модельных смесей резиновая крошка – пластик // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 1 (253). С. 48–53.

R. M. Dolinskaya, N. R. Prokopchuk

Belarusian State Technological University

**EVALUATION OF OPERATIONAL COMPATIBILITY
OF COMPOSITIONS BASED ON MODEL RUBBER CRUSH MIXTURES**

Compositions based on plastics filled with crumb rubber are actively used in world practice as a raw material alternative to vulcanized rubbers, from which rubber products are traditionally made.

In their composition, such compositions are similar to thermoplastic elastomers, which are particles of crosslinked rubber distributed in a thermoplastic matrix.

Polyolefins were used as the main objects of research: high-pressure polyethylene (LDPE) grade of 10803-020 (GOST 16337–77) and Vilothem (a product representing LDPE waste of various grades) (TU 6-11-0203492-18–89) and crumb rubber based on EPDM and SKI rubbers.

When choosing thermoplastics, first of all, they took into account the availability and low cost (all LDPE grades are produced in the Republic of Belarus), physical and mechanical characteristics, resistance to various aggressive factors in real operating conditions and manufacturability during processing of compositions.

As a result of the studies carried out, concentration intervals were established in which the compositions are characterized by operational compatibility with the coexistence of two phases:

- crumb rubber based on EPDM-60 rubber and polyethylene (30–80 wt. % polyethylene);
- crumb rubber based on SKI-3 rubber and polyethylene (30–70 wt. % polyethylene).

Thus, the thermodynamic incompatibility of the components is not an obstacle to the creation of operationally stable polymer compositions.

Key words: polyolefins, high-pressure polyethylene, crumb rubber based on EPDM and SKI rubbers, thermodynamic incompatibility, operationally stable polymer materials.

For citation: Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R. Evaluation of operational compatibility of compositions based on model rubber crush mixtures. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2022, no. 1 (253), pp. 48–53 (In Russian).

Введение. Вышедшие из эксплуатации изношенные резинотехнические изделия являются источником длительного загрязнения окружающей среды, поскольку они не подвергаются биологическому разложению в течение сотен лет. Одним из рациональных способов их утилизации является измельчение [1, 2]. Полученный порошок резины используют в составе различных материалов, в частности порошок резины применяют как наполнитель для термопластов [2, 3]. Свойства дисперсно-наполненных композитов на основе термопластов и частиц резины определяются видом термопластичной матрицы, дисперсностью используемой резиновой крошки, типом резины, из которой получена резиновая крошка, а также условиями получения материала [4, 5].

Такого типа материалы нашли широкое применение в качестве гидроизоляционных, кровельных материалов, из них получают мягкий шифер, черепицу [6], соответственно к этим материалам предъявляются высокие требования по огнестойкости и горючести.

Композиции на основе пластиков, наполненных резиновой крошкой, активно используются в мировой практике в качестве сырья, альтернативного вулканизируемому резинам, из которых традиционно изготавливают резинотехнические изделия. Преимущества этих материалов перед обычными резинами состоят в следующем:

- переработка их в изделия не требует стадии вулканизации, что значительно упрощает и сокращает технологический процесс получения изделий из композиционных материалов [7];

- переработку можно осуществлять на современном высокопроизводительном оборудовании для пластмасс, что значительно снижает стоимость изготовления изделий и увеличивает производительность [8];

- образующиеся при переработке отходы и бракованные изделия можно снова перерабатывать без потери качества и заданных характеристик конечных изделий в отличие от традиционного производства резинотехнических изделий, при котором отходы резины и брак выбрасываются в связи с невозможностью их повторной переработки после процесса вулканизации;

- в сравнении с традиционными резинами они обладают повышенными озоностойкостью, масло- и бензостойкостью, устойчивостью к высоким температурам и более низкой удельной массой, что уменьшает массу изделия и повышает сроки его эксплуатации [9].

По своему составу такие композиции аналогичны термоэластопластам, представляющим собой частицы шитого каучука, распределенные в термопластичной матрице. Однако структура и свойства этих материалов отличаются.

Композиции, аналогичные термоэластопластам, представляют собой механическую смесь термопласта и эластомерной смеси. Полимеры, используемые для получения смесевых композиций, чаще всего относительно недорогие и крупнотоннажные. Кроме того, на их основе можно создавать новые изделия с необходимым комплексом свойств, который нельзя достигнуть, используя существующий в настоящее время ассортимент полимеров.

Проблема совмещения эластомеров и пластиков не нова, но работ, посвященных именно смесям пластик – эластомер очень мало. Это, в основном, патенты [10, 11] и рекламные сообщения.

Смеси полимеров обладают, как правило, пониженной вязкостью [12–14]. Это имеет значение при переработке смесей полимеров, так как уменьшает производственные затраты энергии на экструзию, каландрование и т. д.

К сожалению ни одна теория не может предсказать или количественно объяснить появление экстремумов на зависимостях свойство – состав, так как они являются результатом действия различных и иногда весьма сложных и в то же время не до конца выясненных причин. Однако в одном все теории едины – все особенности свойств смесей полимеров связаны с их гетерофазностью [15–20]. Гетерофазность сама по себе, с одной стороны, приводит к возникновению перенапряжений при деформации композита, а при возникновении (зарождении) микротрещин удлиняет путь их роста и увеличивает вероятность релаксации напряжений. С другой стороны, наличие гетерофазности приводит к возникновению межфазных слоев, где взаимодействие макромолекул разнородных полимеров ослаблено. В результате в межмолекулярных слоях концентрируется свободный объем (плотность понижается). Все это приводит к возникновению общей особенности смесей полимеров – повышенной способности их к релаксации напряжений, а отсюда к снижению внутренних напряжений и улучшению прочностных свойств в динамических условиях деформации, в которых особенно заметно замедление роста трещин при нагружении образца [13].

Основная часть. В качестве основных объектов исследования использовались полиолефины: полиэтилен высокого давления (ПЭВД) марки 10803–020 (ГОСТ 16337–77), Вилотерм – продукт, представляющий собой отходы ПЭВД разных марок (ТУ 6-11-0203492-18–89), и резиновая крошка на основе каучуков СКЭПТ и СКИ.

При выборе термопластов в первую очередь принимали во внимание доступность и низкую стоимость (все марки ПЭВД выпускаются в РФ), физико-механические характеристики, стойкость

к воздействию различных агрессивных факторов в реальных условиях эксплуатации и технологичность при переработке.

Композиции изготавливали на обогреваемых вальцах ЛВ 320 160/160 П при температурах, превышающих температуру текучести полиэтилена на 10–40°C. Затем образцы формовали методом прессования при температурах выше температуры плавления полиэтилена на 10–40°C в течение 10 мин с последующим охлаждением под давлением в течение 10 мин.

С целью оценки совместимости полимеров в композиции рассчитывали свободную энергию системы при смешении $\Delta G_{см}$, кДж/моль, по уравнению [15]:

$$\Delta G_{см} = RTV \left[\frac{\phi_1 \ln \phi_1}{V_1} + \frac{\phi_2 \ln \phi_2}{V_2} + \chi_{12} \phi_1 \phi_2 \right], \quad (1)$$

где R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – температура процесса смешения, К; V , V_1 , V_2 – мольные объемы композиции и каждого компонента соответственно, м³/моль; ϕ_1 , ϕ_2 – объемные доли смешиваемых компонентов; χ_{12} – параметр взаимодействия полимер – полимер.

Оценку значений термодинамических параметров взаимодействия производили расчетным путем на основании теории растворов Флори – Хаггингса [13–16]:

$$\chi_{12} = \frac{V_r}{RT(\delta_1 - \delta_2)}, \quad (2)$$

где χ_{12} – параметр взаимодействия между компонентами; V_r – сравнительный объем, который выбирается максимально приближенным к молярному объему наименьшего повторяющегося звена полимера, м³/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – температура, К; δ_1 , δ_2 – параметры растворимости компонентов композиции по Гильдебрандту [21].

С целью получения наиболее достоверной информации о процессе смешения нами проведена оценка термодинамической устойчивости композиций пластик – резиновая крошка. Результаты проведенных расчетов представлены в таблице и на рис. 1–4.

Значения термодинамического параметра взаимодействия (χ_{12}) композиций

Композиции на основе резиновой крошки	χ_{12}
СКЭПТ-60 – ПЭВД (марки 10803–020)	0,0013
СКЭПТ-60 – ПЭ «Вилотерм»	0,0027
СКИ-3 – ПЭВД (марки 10803–020)	0,37
СКИ-3 – ПЭ «Вилотерм»	0,72

Достаточно высокие значения χ_{12} (таблица) для систем резиновая крошка на основе каучука СКИ-3 – ПЭВД и СКИ-3 – ПЭ «Вилотерм» указывают, вероятно, на отсутствие совместимости в этих системах, так как она проявляется лишь тогда, когда $\chi_{12} \rightarrow 0$ [22], как это наблюдается в системах резиновая крошка на основе каучука СКЭПТ-60 – ПЭВД и СКЭПТ-60 – ПЭ «Вилотерм».

Тем не менее результаты, представленные на рис. 1–4, свидетельствуют о том, что эксплуатационная совместимость в композициях резиновая крошка на основе каучука СКИ-3 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм» в определенном интервале существует.

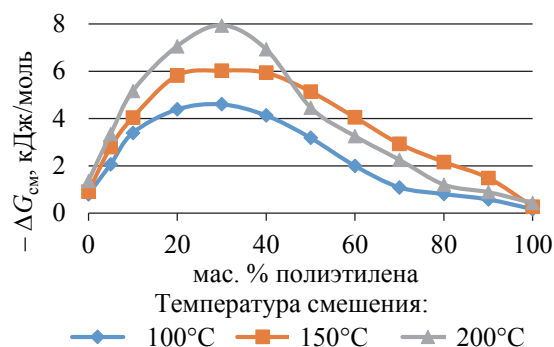


Рис. 1. Зависимость свободной энергии смешения ($-\Delta G_{см}$) композиций на основе резиновой крошки из каучука СКЭПТ-60 от содержания ПЭВД (марки 10803–020)

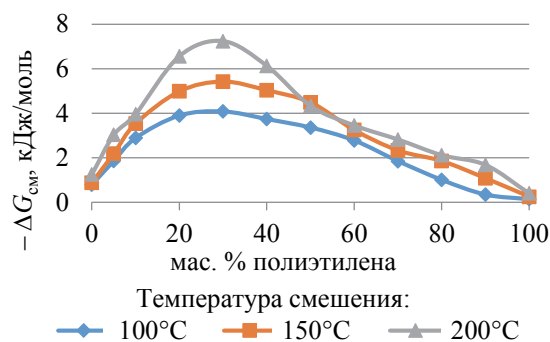


Рис. 2. Зависимость свободной энергии смешения ($-\Delta G_{см}$) композиций на основе резиновой крошки из каучука СКЭПТ-60 от содержания ПЭ (марки «Вилотерм»)

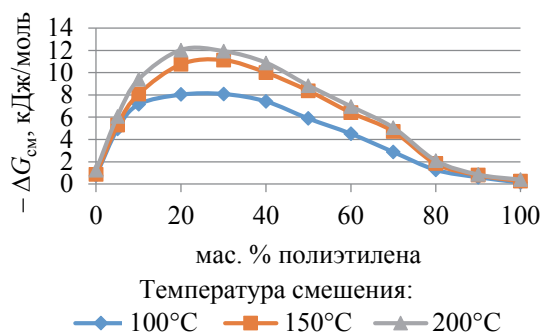


Рис. 3. Зависимость свободной энергии смешения ($-\Delta G_{см}$) композиций на основе резиновой крошки из каучука СКИ-3 от содержания ПЭВД (марки 10803–020)

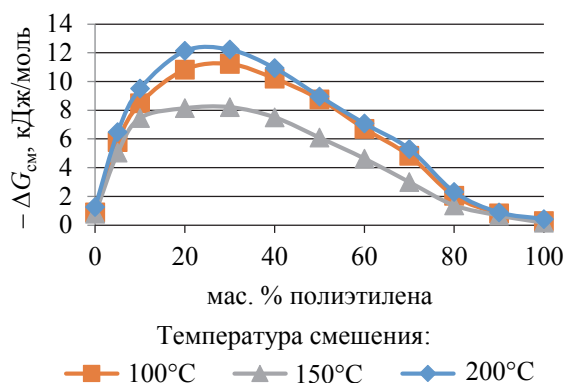


Рис. 4. Зависимость свободной энергии смешения ($-\Delta G_{см}$) композиций на основе резиновой крошки из каучука СКИ-3 от содержания ПЭ (марки «Вилотерм»)

Обнаруженная зависимость – это интерпретация условия термодинамической устойчивости системы совмещенных компонентов [13–16]. Максимальной устойчивостью композиция резиновая крошка на основе каучука СКЭПТ-60 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм» обладает при содержании полиэтилена 30 мас. %. Но именно при таком содержании полиэтилена, вероятно, появляются первые признаки метастабильного состояния, которое предшествует расслоению. А в интервале 30–80 мас. % полиэтилена композиция устойчива по отношению к разделению фазы. Система в этом интервале концентраций характеризуется устойчивым сочетанием двух фаз, обладающих эксплуатационной совместимостью и, следовательно, можно сделать предположение об их термодинамической устойчивости. Концентрационные изменения $-\Delta G_{см}$ для композиций резиновая крошка на основе каучука СКИ-3 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм» по характеру близки к аналогичным зависимостям для композиций резиновая крошка на основе каучука СКЭПТ-60 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм». Конечно, есть отклонения, это разные пределы изменений

и разные величины $-\Delta G_{см}$. Изменение $-\Delta G_{см}$ в системах резиновая крошка на основе каучука СКИ-3 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм» по абсолютной величине примерно в 2 раза больше, чем в системах резиновая крошка на основе каучука СКЭПТ-60 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм». Вероятно, это можно объяснить тем, что расчетное значение $-\Delta G_{см}$ относится к молярному объему V_2 , величина которого для композиции резиновая крошка из каучука СКИ-3 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм» значительно больше условного молярного объема для композиции на основе резиновой крошки из каучука СКЭПТ-60. Однако главной причиной значительного возрастания величины $-\Delta G_{см}$, вероятно, является меньшая термодинамическая совместимость компонентов в композициях резиновая крошка на основе каучука СКИ-3 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм» по сравнению с композицией резиновая крошка на основе каучука СКЭПТ-60 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм», вызывающая необходимость достаточно больших энергетических затрат для совмещения.

В результате проведенных исследований установлены концентрационные интервалы, в которых композиции характеризуются сосуществованием двух фаз, обладающих устойчивостью (эксплуатационной совместимостью):

– резиновая крошка на основе каучука СКЭПТ-60 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм» – 30–80 мас. % полиэтилена;

– резиновая крошка на основе каучука СКИ-3 – ПЭВД и ПЭ «Вилотерм» – 30–70 мас. % полиэтилена.

Закключение. Таким образом, проведенные исследования показали, что термодинамическая несовместимость компонентов не является препятствием для создания устойчивых полимерных материалов. В зависимости от типа полимера, входящего в состав композиции, устойчивое сосуществование двух фаз наблюдается в интервале 30–80 мас. % полиэтилена.

Список литературы

1. Макаров В. М., Дроздовский В. Ф. Использование амортизованных шин и отходов производства резиновых изделий. Л.: Химия, 1986. 249 с.
2. Соловьев Е. М., Соловьева О. Ю. Основные направления использования измельченного вулканизата // Каучук и резина. 1994. № 4. С. 36–46.
3. Вольфсон С. А. Новые пути создания полимерных композиционных материалов // ЖВХО. 1985. Т. 34, № 5. С. 530–536.
4. Резинопласты – новый класс дисперсно-наполненных композиционных материалов / О. А. Серенко [и др.] // Химическая промышленность. 2003. № 7. С. 34–39.
5. Критерий появления ромбовидных (diamond) пор в дисперсно-наполненных полимерах С. Л. Баженов [и др.] // Докл. РАН. 2003. Т. 343, № 3. С. 336–340.
6. Материал для защитных покрытий строительных сооружений и конструкций и способ его получения: пат. RU 2129133 / А. Н. Крючков, М. И. Кнунянц, А. А. Бурбелло, Г. П. Гончарук. Опубл. 20.04.99.
7. Влияние отходов резины на свойства полипропиленовых композиций / Б. М. Савченко [и др.] // Пластические массы. 2007. № 1. С. 31–33.

8. Гиршик Р. Л. Низкотемпературная экологически чистая установка для переработки изношенных шин. Нижнекамск: КамЭкоТех. 2000. 50 с.
9. Исследование высоконаполненных композиционных материалов на основе термоэластопластов / Н. В. Костромина [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. XXVIII, № 3. С. 34–37.
10. Yonekura Katsuyoshi, Uchiyama Akira, Matsuda Akira. Thermoplastic elastomer composition and process for preparation thereof: pat. USA 5128413. Publ. data 07.07.92.
11. Olefinic thermoplastic elastomer composition: pat. USA 5118753 / Hisaca Tadashi, Ibuki Hoichiro, Hamaoka Tatsuo, Mizumori Motoo. Publ. data 02.06.92.
12. Многокомпонентные полимерные системы / под ред. Р. Ф. Голда. М.: Химия. 1974. 328 с.
13. Кулезнев В. Н. Смеси полимеров. М.: Химия, 1978. 310 с.
14. Гуль В. Е., Кулезнев В. Н. Структура и механические свойства полимеров. М.: Лабиринт, 1994. 368 с.
15. Липатов Ю. С. Межфазные явления в полимерах. Киев: Наукова думка, 1980. 260 с.
16. Физико-химия многокомпонентных полимерных систем: в 2 т. / под ред. Ю. С. Липатова. Киев: Наукова думка, 1986. Т. 2. 386 с.
17. Энциклопедия полимеров: в 4 т. / редкол.: В. А. Каргин [и др.]. М.: Советская энциклопедия, 1972. Т. 1. 244 с.
18. Многокомпонентные полимерные системы / под ред. А. Я. Малкина, В. Н. Кулезнева. М.: Химия, 1974. 328 с.
19. Кулезнев В. Н. Особенности структуры и свойств полимеров // Композиционные полимерные материалы. 1975. № 17. С. 93–109.
20. Липатов Ю. С. Структура и свойства наполненных полимерных систем // Пластические массы. 1976. № 11. С. 6–11.
21. Структурные особенности полиолефиновых термоэластопластов / Д. М. Хитеева [и др.] // Композиционные полимерные материалы. 1985. № 27. С. 3–8.
22. Полимерные смеси: в 2 т. / под ред. Д. Пола, С. Ньюмена. М.: Мир, 1981. Т. 1. 550 с.

References

1. Makarov V. M., Drozdovskiy V. F. *Ispol'zovaniye amortizovannykh shin i otkhodov proizvodstva rezinovykh izdeliy* [Use of depreciated tires and waste from rubber production]. Leningrad, Khimiya Publ., 1986. 249 p. (In Russian).
2. Solov'ev E. M., Solov'eva O. Ju. The main directions of use of crushed vulcanizate. *Kauchuk i rezina* [Gum and Rubber], 1994, no. 4, pp. 36–46 (In Russian).
3. Vol'fson S. A. New ways of creating polymer composite materials. *ZhVKhO* [JVHO], 1985, vol. 34, no. 5, pp. 530–536 (In Russian).
4. Serenko O. A., Bazhenov S. L., Kryuchkov A. N., Avinkin V. S., Budnickiy Ju. M. Rubber plastics – a new class of dispersed-filled composite materials. *Khimicheskaya promyshlennost'* [Chemical industry], 2003, no. 7, pp. 34–39 (In Russian).
5. Bazhenov S. L., Serenko O. A., Dubnikova I. L., Berlin A. A. Criterion for the appearance of diamond pores in dispersed-filled polymers. *Doklady RAN* [RAS reports], 2003, vol. 343, no. 3, pp. 336–340 (In Russian).
6. Kryuchkov A. N., Knunyanc M. I., Burbello A. A., Goncharuk G. P. Material for protective coatings of building structures and structures and a method for its production. Patent RU 2129133, 1999 (In Russian).
7. Savchenko B. M., Grinen'ko V. M., Paharenko A. V., Kostrickiy V. V., Paharenko V. A. Influence of rubber waste on the properties of polypropylene compositions. *Plasticheskiye massy* [Plastics], 2007, no. 1, pp. 31–33 (In Russian).
8. Girshik R. L. *Nizkotemperaturnaya ekologicheski chistaya ustanovka dlya pererabotki iznoshennykh shin* [Low temperature environmentally friendly waste tire recycling plant]. Nizhnekamsk, KamEkoTekh Publ., 2000. 50 p. (In Russian).
9. Kostromina N. V., Borisova V. S., Ivashkina V. N., Osipchik V. S. Study of highly filled composite materials based on thermoplastic elastomers. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology], 2014, vol. XXVIII, no. 3, pp. 34–37 (In Russian).
10. Yonekura Katsuyoshi, Uchiyama Akira, Matsuda Akira. Thermoplastic elastomer composition and process for preparation thereof. Patent USA 5128413, 1992.
11. Hisaca Tadashi, Ibuki Hoichiro, Hamaoka Tatsuo, Mizumori Motoo. Olefinic thermoplastic elastomer composition. Patent USA 5118753, 1992.
12. *Mnogokomponentnyye polimernyye sistemy* [Multicomponent polymer systems]. Edit. by R. F. Golda. Moscow, Khimiya. Publ., 1974. 328 p. (In Russian).

13. Kuleznev V. N. *Smesi polimerov* [Polymer blends]. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 310 p. (In Russian).
14. Gul' V. E., Kuleznev V. N. *Struktura i mekhanicheskiye svoystva polimerov* [Structure and mechanical properties of polymers]. Moscow, Labirint Publ., 1994. 368 p. (In Russian).
15. Lipatov Yu. S. *Mezhfaznyye yavleniya v polimerakh* [Interfacial phenomena in polymers]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1980. 260 p. (In Russian).
16. *Fiziko-khimiya mnogokomponentnykh polimernykh sistem* [Physical Chemistry of Multicomponent Polymer Systems]. Edit. By Yu. S. Lipatov. Kiev, Naukova dumka Publ., 1986. Vol. 2. 386 p. (In Russian).
17. *Entsiklopediya polimerov* [Encyclopedia of polymers]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1972. Vol. 1. 244 p. (In Russian).
18. *Mnogokomponentnyye polimernyye sistemy* [Multifunctional polymer systems]. Edit. by A. Ya. Malkin, V. N. Kuleznev. Moscow, Khimiya Publ., 1974. 328 p. (In Russian).
19. Kuleznev V. N. Features of the structure and properties of polymers. *Kompozitsionnyye polimernyye materialy* [Composite polymer materials], 1975, no. 17, pp. 93–109 (In Russian).
20. Lipatov Ju. S. Structure and properties of filled polymer systems. *Plasticheskiye massy* [Plastics], 1976, no. 11, pp. 6–11 (In Russian).
21. Hiteeva D. M., Ahundova F. A., Ogonyan V. A., Aliguliev G. M. Structural features of polyolefin thermoplastic elastomers. *Kompozitsionnyye polimernyye materialy* [Composite polymer materials], 1985, no. 27, pp. 3–8 (In Russian).
22. *Polimernyye smesi* [Polymer mixtures]. Edit. by D. Pol, S. N'yumen. Moscow, Mir Publ., 1981. Vol. 1. 550 p.

Информация об авторах

Долинская Раиса Моисеевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: raisa_dolinskaya@mail.ru

Прокопчук Николай Романович – доктор химических наук, член-корреспондент НАН Беларуси, профессор, профессор кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nrprok@gmail.ru

Information about the authors

Dolinskaya Raisa Moiseevna – PhD (Chemistry), Associate Professor, Assistante Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: raisa_dolinskaya@mail.ru

Prokopchuk Nikolay Romanovich – DSc (Chemistry), Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor, Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nrprok@gmail.ru

Поступила 23.10.2021