

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БРОМИРОВАННЫХ ФТАЛАТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ ПЛАСТИФИКАТОРА

Р.Н. Плотникова, В.И. Корчагин, Л.В. Попова

Раиса Николаевна Плотникова (ORCID 0000-0001-9559-4443), Владимир Иванович Корчагин (ORCID 0000-0001-7212-1627), Любовь Васильевна Попова (ORCID 0000-0002-9648-7620) *

Кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, Российской Федерации, 394036

E-mail: yy@vsuet.ru, kvi-vgta@rambler.ru, luba030883@yandex.ru*

Рассмотрена возможность использования бромированных фталатов, полученных на основе отходов производства, в качестве пластификатора полимерных материалов, таких как полистирол, поливинилхлорид, эфиры целлюлозы. Уровень эффективности использования исследуемых соединений при создании композиционных материалов определяли с учетом образования гомогенной термодинамически устойчивой системы при достаточно близких параметрах растворимости компонентов и оценкой изменения плотности фталатсодержащего пластификатора в зависимости от степени его бромирования. Показано, что одной из важных задач при разработке новых рецептур композиционных материалов является установление зависимости деформационнопрочностных характеристик от различных параметров окружающей среды, условий эксплуатации, технологии переработки, структуры, количества и химического состава вводимых ингредиентов. При изготовлении полимерных композитов с использованием продуктов, полученных на основе отходов производства, и представляющих собой многокомпонентные смеси, такие исследования приобретают особое значение. Установлены значения плотности для образцов сложноэфирного пластификатора с содержанием брома до 14,4% мас. в температурном интервале 273-393 К. Предложено уравнение для оценки влияния содержания брома и температуры на плотность бромированного фталатсодержащего пластификатора. Получены значения параметров, характеризующих изменение интенсивности межмолекулярного взаимодействия, степени изменения дисперсионного и ориентационного взаимодействия от содержания брома в пластификаторе. Для полимерных композиций получены зависимости предела прочности при растяжении от массы введенного пластификатора, установлены их максимальные значения. Показано, что модификация бромированием многокомпонентной фталатсодержащей системы способствует дополнительному межмолекулярному взаимодействию со звеньями полимерной цепи, что также приводит к структурированию полимерного материала и повышению прочности при растяжении.

Ключевые слова: пластификатор, отходы производства, совместимость, прочность при растяжении

USE OF BROMINATED PHTHALATES FROM PRODUCTION WASTE AS A PLASTICIZER

R.N. Plotnikova, V.I. Korchagin, L.V. Popova

Raisa N. Plotnikova (ORCID 0000-0001-9559-4443), Vladimir I. Korchagin (ORCID 0000-0001-7212-1627), Lyubov V. Popova (ORCID 0000-0002-9648-7620) *

Department of Industrial Ecology, Equipment of Chemical and Petrochemical Industries, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolyutsii ave., 19, Voronezh, 394036, Russia

E-mail: yy@vsuet.ru, kvi-vgta@rambler.ru, luba030883@yandex.ru *

The possibility of using brominated phthalates obtained from production wastes as a plasticizer for polymeric materials such as polystyrene, polyvinyl chloride, cellulose ethers is considered. The level of efficiency of using the compounds under study in the creation of composite materials was determined taking into account the formation of a homogeneous thermodynamically stable system with sufficiently close solubility parameters of the components and an assessment of the change in the density of the phthalate-containing plasticizer depending on the degree of its bromination. It is shown that one of the important tasks in the development of new formulations of composite materials is to establish the dependence of the deformation and strength characteristics on various environmental parameters, operating conditions, processing technology, structure, amount and chemical composition of the ingredients introduced. In the manufacture of polymer composites using products obtained on the basis of production wastes and representing multicomponent mixtures, such studies are of particular importance. The density values for the samples of the ester plasticizer with bromine content up to 14.4% in the temperature range of 273-393 K have been determined. An equation is proposed to assess the effect of the bromine content and temperature on the density of the brominated phthalate-containing plasticizer. The values of the parameters characterizing the change in the intensity of intermolecular interaction, the degree of change in the dispersion and orientational interactions from the bromine content in the plasticizer were obtained. For polymer compositions, the dependences of the tensile strength on the mass of the introduced plasticizer are obtained, their maximum values are established. It is shown that modification by bromination of a multicomponent phthalate-containing system promotes additional intermolecular interaction with the links of the polymer chain, which also leads to structuring of the polymer material and an increase in tensile strength.

Key words: plasticizer, production waste, compatibility, tensile strength

Для цитирования:

Плотникова Р.Н., Корчагин В.И., Попова Л.В. Использование бромированных фталатов из отходов производства в качестве пластификатора. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 5. С. 87–93

For citation:

Plotnikova R.N., Korchagin V.I., Popova L.V. Use of brominated phthalates from production waste as a plasticizer. *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2022. V. 65. N 5. P. 87–93

ВВЕДЕНИЕ

Программа развития народного хозяйства на долгосрочную перспективу предусматривает выведение на новый уровень техники и технологий производства композиционных материалов [1-2]. Для большинства широко используемых в различных отраслях народного хозяйства изделий, изготовленных на основе полимерных композитов, основными показателями качества и пригодности к использованию являются их деформационно-прочностные характеристики [3-4].

Оптимальные деформационно-прочностные свойства композиционных материалов обеспечивают разнообразными способами, включающими введение наночастиц неорганических [5] и органических [6] соединений, нановолокон и нанотрубок различной природы [7-9].

Выявление зависимости деформационно-прочностных характеристик при разработке новых рецептур композиционных материалов от различных параметров окружающей среды, условий эксплуатации, технологии переработки и, в первую

очередь, от структуры, количества и химического состава вводимых ингредиентов – первоочередная задача [10]. Особое значение подобные исследования приобретают в случае введения в композиционный материал ингредиентов, представляющих собой многокомпонентную систему, полученную на основе отходов производства.

Экспериментальные исследования посвящены оценке возможности замены в полимерной композиции традиционных пластификаторов на модифицированный многокомпонентный фталат-содержащий пластификатор, полученный на основе отходов производства бутиловых спиртов оксосинтезом [11], и влияния этого пластификатора на деформационно-прочностные свойства композиции.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для подбора эффективного пластификатора для полимерной матрицы предварительно проводили анализ их совместимости. Совместимость как правило оценивают расчетным методом

по показателям поверхностного натяжения, молярного объема и параметра растворимости полимеров [12] по формулам

$$\delta = C^{0.5} \quad (1)$$

или

$$\delta^2 = (\Delta H - RT)/v, \quad (2)$$

где δ – параметр растворимости, $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}\right)^{0.5}$; C – плотность энергии когезии; v – мольный объем, м^3 .

Изучаемый продукт бромирования смеси фталатов, полученных из отходов производства бутиловых спиртов оксосинтезом, имеет широкий диапазон варьирования бромсодержащих компонентов от 20,3 до 75,7 % мас., табл. 1 [13].

Таблица 1

Характеристика объекта исследования
Table 1. Characteristics of the research object

Наименование показателя	Величина показателя
Массовая доля, %:	
ди-2-этилгексилфталат	19,3 – 74,6
2-этигексил-2-этил-дибромгексилфталат	20,3 – 75,7
дибутилфталат	1,4 – 2,5
примеси	1,4 – 2,5
Плотность при 293 К, кг/м^3	1,06 – 1,28
Цветность по йодометрической шкале	50 – 100
Показатель преломления при 298 К	1,494 – 1,497
Динамическая вязкость при 298 К	75 – 95
Температура кипения (при 0,66 кПа), К	503 – 527
Температура застывания, К	243 – 245
Температура воспламенения, К	н/м 493
Температура вспышки, К	н/м 443
Массовая доля летучих веществ при 373 К за 6 ч, %	0,2 – 0,5
Кислотное число, мг КОН/г	н/б 0,3
Число омыления, мг КОН/г	280 - 290
Йодное число, г $\text{I}_2/100$ г	н/б 5
Массовая доля брома, %	10 - 30
Удельное объемное сопротивление, $\text{ом}\cdot\text{см}$	$2\cdot 10^9$

Для оценки деформационно-прочностных свойств полимерных материалов использовали образцы бромированного сложноэфирного пластификатора с массовой долей брома 13%.

Для объекта исследования установлены: $\Delta H = 25$ кДж/моль; мольный объем $v = 0,324\cdot 10^{-3}$ $\text{м}^3/\text{моль}$.

Оценку возможности использования объекта исследования в качестве пластификатора полимерных материалов проводили с учетом образования гомогенной термодинамически устойчивой системы [14] при достаточно близких параметрах

растворимости компонентов $\delta_1 \approx \delta_2$, с использованием уравнения Смолла, справедливого в достаточном приближении для неполярных соединений,

$$\delta = \rho(\Sigma Q)/M, \quad (3)$$

где ΣQ – сумма констант притяжения отдельных групп; ρ – плотность вещества; M – молекулярная масса элементарного звена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно [13], параметры растворимости отдельных компонентов исследуемого пластификатора находятся в пределах от 35,03 до 36,16 $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}\right)^{0.5}$.

Известно [15], что при смешении композиция будет гомогенна и устойчива в случае разницы параметров растворимости компонентов не более $\pm 1,5$. Поэтому не все широко используемые полимеры при $T = 298$ К совместимы с исследуемым объектом. Однако предварительно растворенные в низкомолекулярном растворителе [16], способном растворить и исследуемый объект, дают новую термодинамическую систему с более низкой энергией когезии [17], в которую можно вводить исследуемый объект без предварительного нагрева. Авторами [18] предложен способ повышения совместимости компонентов в композитах на основе вторичного полипропилена путем модифицирования инертных добавок в процессе обработки парами четыреххлористого углерода, приводящей к замещению атомов кислорода на атомы хлора. Немаловажную роль в изменении параметров растворимости играет температура.

Поскольку, согласно формуле (3), параметр растворимости зависит от плотности, были проведены исследования этого показателя бромсодержащего смесового пластификатора как функции температуры и содержания в нем брома, табл. 2.

Таблица 2

Плотность бромированного пластификатора при различных температурах и содержании брома, кг/м^3
Table 2. Density of brominated plasticizer at different temperatures and bromine content, kg/m^3

Содержание брома, %	Температура, К			
	273	313	353	393
0	0,993	0,966	0,94	0,915
4,5	1,031	0,995	0,972	0,945
8,4	1,085	1,060	1,028	0,998
14,4	1,110	1,077	1,035	1,005

Полученные экспериментальные данные указывают на повышение плотности образцов с увеличением содержания брома при всех исследованных температурах. При этом наблюдается тенденция насыщения по воздействию содержания

брома на плотность пластификатора. Подобный эффект можно объяснить усилением межмолекулярного взаимодействия вследствие поляризационных эффектов в молекулах, содержащих многоэлектронные атомы брома. Эффект притяжения уплотняет расположение молекул; накопление бромированных молекул в смеси приводит к стабилизации межмолекулярных взаимодействий, что отмечено в экспериментальных зависимостях $\rho = f(C)$ уравнением

$$\rho = a_0 + a_1C + a_2C^2$$

или

$$Y = a_1C + a_2C^2, \quad (4)$$

где C – содержание брома, %, a_0 – плотность пластификатора, не содержащего атомов брома; a_1 – коэффициент, характеризующий увеличение плотности на единицу величины C при $C \rightarrow 0$; $Y = \rho - a_0$.

Значения коэффициентов a_1 и a_2 , рассчитанные с учетом уравнения (4), приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов a_1 и a_2
Table 3. The values of the coefficients a_1 and a_2

Температура, К	a_0 , кг/м ³	$a_1 \cdot 10^2$, кг/м ³	\bar{a}_1 , кг/м ³	$a_2 \cdot 10^4$, кг/м ³
273	0,990	1,276	1,253 · 10 ⁻²	-2,42
313	0,961	1,260		-3,00
353	0,940	1,299		-3,82
393	0,911	1,220		-4,08

Как видно из табл. 3, абсолютное значение коэффициента a_2 возрастает с увеличением температуры. Уменьшение плотности вследствие этого должно являться результатом ослабления ориентационной составляющей межмолекулярных взаимодействий при

$$a_2 = b_0 + b_1 \frac{1}{T}. \quad (5)$$

С учетом данных табл. 2, получаем

$$a_2 = -8,123 \cdot 10^{-4} + 1,566 \cdot 10^{-1} \frac{1}{T}.$$

С учетом (5) общее уравнение зависимости плотности от содержания брома принимает вид

$$\rho = a_0 + 1,2633 \cdot 10^{-2}C + (-8,1232 \cdot 10^{-4} + 1,5661 \cdot 10^{-1} \left(\frac{1}{T}\right))C^2. \quad (6)$$

Характерной особенностью уравнения (6), повышающей его значение, является то, что значения коэффициентов определены с учетом особенностей межмолекулярного взаимодействия. В частности, можно отследить изменение интенсивности межмолекулярного взаимодействия с увеличением температуры через изменение коэффициента a_2 . Второй и третий члены правой части уравнения характеризуют в сравнительном аспекте меру изме-

нения дисперсионного и ориентационного взаимодействия от содержания брома.

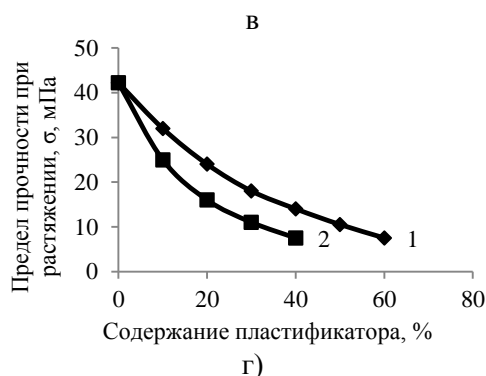
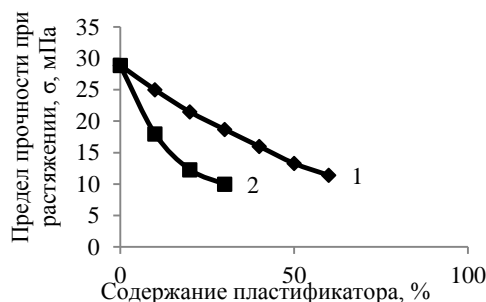
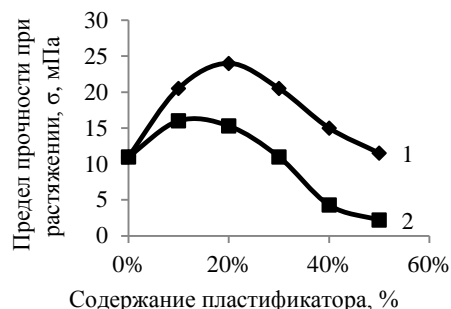


Рис. Зависимость предела прочности при растяжении от содержания пластификатора полимерных образцов на основе; а) полистирола; б) поливинилхлорида; в) поливинилацетата; г) ацетилцеллюлозы; для пластификаторов 1 – бромированный диэтилгексилфталат; 2 – дибutilфталат

Fig. Dependence of ultimate tensile strength on the plasticizer content of polymer samples based on; а) polystyrene; б) polyvinyl chloride; в) polyvinyl acetate; г) acetyl cellulose; for plasticizers 1 - brominated diethylhexyl phthalate; 2 - dibutyl phthalate

Таблица 4

Экспериментальные и расчетные значения предела прочности при растяжении пластифицированных композиций

Table 4. Experimental and calculated values of the tensile strength of plasticized compositions

Матрица	Предел прочности при растяжении, МПа	
	σ_{max} , КСП.	σ_{max} , расч.
Полистирол	24,0	17,8
Поливинилхлорид	32,5	21,6
Поливинилацетат	28,9	21,6
Ацетат целлюлозы	42,2	30,2

Оценку влияния многокомпонентной бромсодержащей системы фталатного типа, созданной на основе отходов производства, на прочностные показатели полимерного материала проводили в соответствии с требованиями стандарта [19].

На рисунке представлены зависимости предела прочности от содержания пластификаторов для образцов полимерных материалов на основе полистирола, поливинилхлорида, поливинилацетата, ацетилцеллюлозы.

Для композиций с полистиролом, поливинилхлоридом эта зависимость проходит через максимум. В случае эфиров целлюлозы с увеличением содержания бромированного диэтилгексилфталата происходит постепенное снижение прочностных свойств композиций. В первом случае введение пластификатора до 20% мас. способствует разворачиванию глобул и выпрямлению цепей, что ведет к упорядочению их расположения и повышению прочности материала, так же, как и плоскостная ориентация методом последовательного сдавливания биоразлагаемых композиций на основе полибутиленсукцината [20-21]. Атомы брома, обладающие высокой константой притяжения $1,43 \cdot 10^3 (\text{кДж/м}^3)^{0,5}$, способствуют дополнительному межмолекулярному взаимодействию со звеньями полимерной цепи. Это также приводит к структурированию полимерного материала и повышению прочности при растяжении, как и наличие концевой полярной группы в модификаторах олигомерного типа [22]. Такой эффект достигается в резинах, наполненных углеродными нановолокнами [23]. Дальнейшее добавление пластификатора ведет к ослаблению прочностных свойств за счет удаления фрагментов полимерной цепи в процессе взаимодействия [24] и разрушения надмолекулярной структуры полимера. В случае жесткоцепных эфиров целлюлозы происходит только экранирование реакционных групп и дезориентация молекул.

Согласно формуле Дж. Гордона

$$\sigma_{max} = 0,245\delta^2 = 0,245C, \quad (7)$$

где σ_{max} – прочность при растяжении в условиях отсутствия напряжения сдвига, н/м; δ^2 и C – квадрат параметра растворимости и плотность энергии когезии полимера, Дж/м³, чем выше параметр растворимости, тем больше плотность и прочность материала. Согласно экспериментальным данным, подобное утверждение справедливо только для непластифицированных полимеров, что подтверждается авторами [2]. Введение бромсодержащего пластификатора фталатного типа в полимерные композиции изменяет привычную картину, табл. 4.

Как видно из табл. 4, расчетные значения предела прочности при растяжении более низкие. Следовательно, реальные системы более сложные как по структуре, так и по характеру взаимодействия составляющих элементов. Выполненные исследования функции $\sigma = \sigma(C)$, где C – содержание бромированного пластификатора в композиции, позволяют определить σ_{max} – наибольшую величину предела прочности. Изменение состояния физико-химической системы в данном случае охарактеризовано через прочность полимерных композиций.

ВЫВОДЫ

На основании анализа экспериментальных данных:

- получено уравнение зависимости плотности бромсодержащего пластификатора из отходов производства от содержания брома от 0 до 14,4% в интервале температур 273-393 К;

- установлено, что интенсивность межмолекулярного взаимодействия в объекте исследования в пределах от 273 К до 393 К, в большей степени определяется коэффициентом a_2 , изменяющимся от $-2,42 \cdot 10^{-4}$ до $-4,08 \cdot 10^{-4}$ кг/м³;

- установлена возможность использования многокомпонентной бромсодержащей системы фталатного типа в качестве эффективного пластификатора полистирола, поливинилхлорида, эфиров целлюлозы;

- определены максимальные значения предела прочности при растяжении при введении 20% мас. бромированных фталатов из отходов производства с массовой долей брома 13%: для полистирола $\sigma = 24,0$ Мпа, для поливинилхлорида $\sigma = 32,5$ Мпа;

- подтверждено, что атомы брома, обладающие высокой константой притяжения $1,43 \cdot 10^3 (\text{кДж/м}^3)^{0,5}$, способствуют дополнительному межмолекулярному взаимодействию со звеньями полимерной цепи, что также приводит к структурированию полимерного материала и повышению прочности при растяжении.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.*

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. **Каблов Н.Н.** Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки до 2030 года. *Авиац. матер. и технолог.* 2012. N С. С. 7-17.
2. **Голубев А.Е., Нешитова А.Н., Кувшинова С.А., Бурмистров В.А.** Реологические свойства растворов пластифицированного диацетата целлюлозы. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. Вып. 2. С. 46-51. DOI: 10.6060/tcct.20165902.5303.
3. **Zhaobin Ch., Li T., Yang Y., Liu X., Renguo Lv.** Mechanical and tribological properties of PA / PPS blends. *Wear.* 2004. V. 257. P. 696-707. DOI: 10.1016/J.Wear.2004.03.013.
4. **Paul D.R., Baknell K.B.** Polymer mixtures. Volume I: Systematics. *Taxonomy.* 2009. 618 p.
5. **Laoutid F., Picard A., Persenaire O., Dubois P.** Investigation of the alumina nanoparticle role in the enhancement of the mechanical properties of polyamide/polycarbonate blends. *Polym. Degradat. Stabil.* 2015. V. 112. P. 137-144. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.12.021.
6. **Gowd E.B., Ramesh C.** Morphological consequences of interchange reactions during solid state copolymerization in poly(ethyleneterephthalate) and polycarbonate oligomers. *Polymer.* 2005. V. 46. N 18. P. 7443-7449. DOI: 10.1016/j.polymer.2005.05.075.
7. **Li J.-L., Wang X.-F., Yang C.-J., Yang J.-H., Zhang J.-H.** Toughening modification of polycarbonate/poly(butylene-terephthalate) blends achieved by simultaneous addition of elastomer particles and carbon nano-tubes. *Composites Part A: Appl. Sci. Manufactur.* 2016. V. 90. P. 200-210. DOI: 10.1016/j.compositesa.2016.07.006.
8. **Swoboda B., Buonomo S., Leroy E., Lopez Cuesta J.M.** Reaction to fire of recycled poly(ethyleneterephthalate)/polycarbonate blends. *Polym. Degrad. Stabil.* 2007. V. 92. N 12. P. 2247-2256. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2007.01.038.
9. **Hong I.-K., Lee S.** Properties of ultrasound-assisted blends of poly(ethylene terephthalate) with polycarbonate. *J. Ind. Eng. Chem.* 2013. V. 19. N 1. P. 87-93. DOI: 10.1016/j.jiec.2012.07.006.
10. **Кожанова М.Ю., Литвиненко О.В., Ляпков А.А., Голубенко И.С.** Исследование механических свойств полидигидропентадиена, облученного электронным и гамма-излучением. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2021. Т. 63 № 1. С. 41-46. DOI: 10.31857/S2308112021010041.
11. **Плотникова Р.Н., Корчагин В.И., Попова Л.В.** Бромирование фталатсодержащих систем, полученных из отходов производства. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 11. С. 112-116. DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6429.
12. **Сорокин А.Е., Краснов А.П., Горшков М.В., Клабукова Л.Ф., Зюзина Г.Ф.** Влияние совместимости в смесях полиарилатов на трение. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2017. Т. 60. Вып. 10. С. 58-67. DOI: 10.6060/tcct.20176010.5616.
13. **Плотникова Р.Н.** Исследование свойств бромированной фталатсодержащей системы и определение областей ее применения. *Вестн. Воронеж. гос. ун-та инженер. технологий.* 2021. 83(1). С. 290-296. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-290-296.
14. **Сандитов Д.С., Разумовская И.В., Машанов А.А.** О температурной зависимости энергии активации стеклования. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2020. Т. 62. № 5. С. 392-400. DOI: 10.31857/S2308112020050144.
1. **Kablov N.N.** Strategic directions of developments of materials and technologies of their processing up to 2030 year. *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2012. N S. P. 7-17 (in Russian).
2. **Golubev A.E., Neshitova A.N., Kuvshinova S.A., Burmistrov V.A.** Rheological properties of solutions of plasticized cellulose diacetate. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2016. V. 59. N 2. P. 46-51 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.20165902.5303.
3. **Zhaobin Ch., Li T., Yang Y., Liu X., Renguo Lv.** Mechanical and tribological properties of PA / PPS blends. *Wear.* 2004. V. 257. P. 696-707. DOI: 10.1016/J.Wear.2004.03.013.
4. **Paul D.R., Baknell K.B.** Polymer mixtures. Volume I: Systematics. *Taxonomy.* 2009. 618 p.
5. **Laoutid F., Picard A., Persenaire O., Dubois P.** Investigation of the alumina nanoparticle role in the enhancement of the mechanical properties of polyamide/polycarbonate blends. *Polym. Degradat. Stabil.* 2015. V. 112. P. 137-144. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.12.021.
6. **Gowd E.B., Ramesh C.** Morphological consequences of interchange reactions during solid state copolymerization in poly(ethyleneterephthalate) and polycarbonate oligomers. *Polymer.* 2005. V. 46. N 18. P. 7443-7449. DOI: 10.1016/j.polymer.2005.05.075.
7. **Li J.-L., Wang X.-F., Yang C.-J., Yang J.-H., Zhang J.-H.** Toughening modification of polycarbonate/poly(butylene-terephthalate) blends achieved by simultaneous addition of elastomer particles and carbon nano-tubes. *Composites Part A: Appl. Sci. Manufactur.* 2016. V. 90. P. 200-210. DOI: 10.1016/j.compositesa.2016.07.006.
8. **Swoboda B., Buonomo S., Leroy E., Lopez Cuesta J.M.** Reaction to fire of recycled poly(ethyleneterephthalate)/polycarbonate blends. *Polym. Degrad. Stabil.* 2007. V. 92. N 12. P. 2247-2256. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2007.01.038.
9. **Hong I.-K., Lee S.** Properties of ultrasound-assisted blends of poly(ethylene terephthalate) with polycarbonate. *J. Ind. Eng. Chem.* 2013. V. 19. N 1. P. 87-93. DOI: 10.1016/j.jiec.2012.07.006.
10. **Kozhanova M.Yu., Litvinenko O.V., Lyapkov A.A., Golubenko I.S.** Investigation of the mechanical properties of polydicyclopentadiene irradiated with electron and gamma radiation. *Vysokomolek. Soed. Ser. A.* 2021. V. 63 N 1. P. 41-46 (in Russian). DOI: 10.31857/S2308112021010041.
11. **Plotnikova R.N., Korchagin V.I., Popova L.V.** Bromination of phthalate-containing systems from industrial waste. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 11. P. 112-116 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6429.
12. **Sorokin A.E., Krasnov A.P., Goroshkov M.V., Klabukova L.F., Zyuzuna G.F.** The effect of compatibility in mixtures of polyarylates on friction. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2017. V. 60. N 10. P. 58-67 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.20176010.5616.
13. **Plotnikova R.N.** Investigation of the properties of the brominated phthalate-containing system and determination of its application areas. *Vestn. Voronezh. Gos. Un-ta Inzhener. Tekhnol.* 2021. 83(1). P. 290-296 (in Russian). DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-290-296.
14. **Sanditov D.S., Razumovskaya I.V., Mashanov A.A.** On the temperature dependence of the activation energy of glass transition. *Vysokomolek. Soed. Ser. A.* 2020. V. 62. N 5. P. 392-400 (in Russian). DOI: 10.31857/S2308112020050144.

15. Шварц А.Г., Динсбург Б.Н. Совмещение каучуков с пластиками и смолами. М.: Химия. 1972. 224 с.
16. Наумова Ю.А., Колесова Л.А., Карпова С.Г., Люсова Л.Р., Котова С.В., Попов А.А. Гидродинамические и конформационные свойства бутадиеннитрильных каучуков в растворах в сложных эфирах. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2020. Т. 62. № 3. С. 163-169. DOI: 10.31857/S2308112020020017.
17. Назаров В.Г., Столяров В.П., Доронин Ф.А., Евдокимов А.Г., Рытиков Г.О., Бревнов П.Н., Заболотнов А.С., Новокшонова Л.А., Берлин А.А. Сопоставление влияния некоторых методов модификации на характеристики сверхмолекулярного полиэтилена и композитов на его основе. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2019. Т. 61. № 3. С. 254-263. DOI: 10.1134/S2308112019030106.
18. Галицейский К.Б., Таманцев Я.А., Докучаев Р.В., Мацевич Т.А., Бузин М.И., Пиминова К.С., Аскадский А.А. Совместимость компонентов и релаксационные свойства композитов на основе вторичного полипропилена и модифицированных базальтовых волокон. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2020. Т. 62. № 5. С. 357-369. DOI: 10.31857/S2308112020050053.
19. ГОСТ 11262-2017. Пластмассы. Методы испытаний на растяжение. М.: Стандартинформ. 2018. 24 с.
20. Монахова К.З., Баженов С.Л., Кечекьян А.С. Влияние двухосной ориентации на механические свойства наполненного полибутадиенсукцината. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2019. Т. 61. № 4. С. 354-358. DOI: 10.1134/S2308112019040072.
21. Монахова К.З., Баженов С.Л., Кечекьян А.С., Мешков И.Б. Влияние частиц на их адгезию в композите полипропилен/SiO₂. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2021. Т. 63. № 2. С. 128-135. DOI: 10.31857/S2308112021010065.
22. Герасин В.А., Гусева М.А., Комаров П.Д., Куренков В.В., Миняев М.Е., Нифантьев И.Э. Получение полимер-алюмосиликатных нанокомпонентов с низкомолекулярными и олигомерными модификаторами методом одностадийного смешения в расплаве. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2020. Т. 62. № 6. С. 420-429. DOI: 10.31857/S2308112020050077.
23. Смирнова В.Е., Сапрыкина Н.Н., Лаврентьев В.К., Попова Е.Н., Колбе К.А., Кузнецова Д.А., Юдин В.Е. Механические свойства и надмолекулярная структура ориентированных полиимидных пленок, наполненных углеродными нановолокнами. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2021. Т. 63 № 3. С. 210-220. DOI: 10.31857/S2308112021030123.
24. Чалых А.Е., Никулова У.В., Щербина А.А. Диффузия и термодинамика смешения полистирола с блок- и градиентными сополимерами бутилакрилата и стирола. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2020. Т. 62. № 4. С. 271-284. DOI: 10.31857/S2308112020040033.
15. Shvarts A.G., Dinsburg B.N. Combining rubbers with plastics and resins. M.: Khimiya. 1972. 224 p. (in Russian)
16. Naumova Yu.A., Kolesova L.A., Karpova S.G., Lyusova L.R., Kotova S.V., Popov A.A. Hydrodynamic and conformational properties of butadiene nitrile rubbers in solutions in esters. *Vysokomolek. Soed. Ser. A.* 2020. V. 62. N 3. P. 163-169 (in Russian). DOI: 10.31857/S2308112020020017.
17. Nazarov V.G., Stolyarov V.P., Doronin F.A., Evdokimov A.G., Rytikov G.O., Brevnov P.N., Zabolotnov A. S., Novokshonova L.A., Berlin A.A. Comparison of the influence of some modification methods on the characteristics of supermolecular polyethylene and composites based on it. *Vysokomolek. Soed. Ser. A.* 2019. V. 61. N 3. P. 254-263 (in Russian). DOI: 10.1134/S2308112019030106.
18. Matseevich T.A., Buzin M.I., Piminova K.S., Askadsky A.A. Component compatibility and relaxation properties of composites based on secondary polypropylene and modified basalt fibers. *Vysokomolek. Soed. Ser. A.* 2020. V. 62. N 5. P. 357-369 (in Russian). DOI: 10.31857/S2308112020050053.
19. GOST 11262-2017. Plastics. Tensile testing methods. M.: Standartinform. 2018. 24 p. (in Russian)
20. Monakhova K.Z., Bazhenov S.L., Kechekyan A.S. The influence of biaxial orientation on the mechanical properties of filled polybutadiene succinate. *Vysokomolek. Soed. Ser. A.* 2019. V. 61. N 4. P. 354-358 (in Russian). DOI: 10.1134/S2308112019040072.
21. Monakhova K.Z., Bazhenov S.L., Kechekyan A.S., Meshkov I.B. The effect of particles on their adhesion in the polypropylene/SiO₂ composite. *Vysokomolek. Soed. Ser. A.* 2021. V. 63 N 2. P. 128-135 (in Russian). DOI: 10.31857/S2308112021010065.
22. Gerasin V.A., Guseva M.A., Komarov P.D., Kurenkov V.V., Minyaev M.E., Nifantiev I.E. Preparation of polymer-aluminosilicate nanocomponents with low-molecular and oligomeric modifiers by single-stage mixing in a melt. *Vysokomolek. Soed. Ser. A.* 2020. V. 62. N 6. P. 420-429 (in Russian). DOI: 10.31857/S2308112020050077.
23. Smirnova V.E., Saprykina N.N., Lavrentiev V.K., Popova E.N., Kolbe K.A., Kuznetsova D.A., Yudin V.E. Mechanical properties and supramolecular structure of oriented polyimide films filled with carbon nanofibers. *Vysokomolek. Soed. Ser. A.* 2021. V. 63. N 3. P. 210-220 (in Russian). DOI: 10.31857/S2308112021030123.
24. Chalykh A.E., Nikulova U.V., Shcherbina A.A. Diffusion and thermodynamics of mixing of polystyrene with block and gradient copolymers of butyl acrylate and styrene. *Vysokomolek. Soed. Ser. A.* 2020. V. 62. N 4. P. 271-284 (in Russian). DOI: 10.31857/S2308112020040033.

Поступила в редакцию 21.12.2021
Принята к опубликованию 17.03.2022

Received 21.12.2021
Accepted 17.03.2022