

Оригинальные статьи

DOI: <https://doi.org/10.17308/kcmf.2020.22/2471>

Поступила в редакцию 22.01.2020

Принята к публикации 15.02.2020

Опубликована онлайн 25.03.2020

ISSN 1606-867X

eISSN 2687-0711

УДК 541.64

Изучение вязкоупругих характеристик вторичного полимерного сырья в присутствии природных наполнителей растительного происхождения

© 2020 Р. М. Ахметханов, А. Р. Садритдинов, В. П. Захаров, А. С. Шуршина, Е. И. Кулиш✉

Башкирский государственный университет, ул. Заки Валиди, 32, 450076 Уфа, Российская Федерация

Аннотация

Целью данной работы является изучение реологических характеристик полимерной композиции на основе вторичного полипропилена и наполнителей растительного происхождения.

В работе использовали образец вторичного полипропилена, соответствующий первичному полипропилену марки FF/3350, представляющий собой дробленый материал из некондиционных изделий, производимых методом литья под давлением в технологическом производстве ООО «ЗПИ Альтернатива» (Россия, Республика Башкортостан, г. Октябрьский). В качестве наполнителя были рассмотрены материалы, являющиеся отходами производств – лузга гречихи, полова (мякина) пшеницы, рисовая шелуха и древесная мука. Моделирование процесса переработки полимерных материалов осуществляли в расплаве на лабораторной станции (пластограф) «PlastographEC» (Brabender, Германия). Физико-механические свойства полимерных композитов при разрыве определяли на разрывной машине «ShimadzuAGS-X» (Shimadzu, Япония). Реологические измерения проводили на модульном динамическом реометре Haake MarsIII.

В ходе исследований было показано, что для всех изученных наполнителей имеет место увеличение вязкости расплава полипропилена при добавлении их в композицию. Показано, что по мере увеличения содержания наполнителя в системе не только увеличиваются их вязкие свойства, о чем свидетельствуют значения комплексной вязкости, но и их упругие характеристики. Установлено, что по мере наполнения полимера растительными компонентами, происходит закономерное увеличение модуля накоплений, что характерно для систем, проявляющих упругие свойства. Утверждается, что при использовании рисовой шелухи и древесной муки в качестве наполнителей формируются композиты, характеризующиеся высокими значениями модуля накоплений и соответственно повышенными значениями модуля Юнга. Было доказано, что оптимальным содержанием наполнителя является значение, соответствующее 10 mass.h.

Ключевые слова: полимерная композиция, реология, вторичный полипропилен, наполнитель растительного происхождения, вязкоупругие характеристики.

Источник финансирования: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-90087.

Для цитирования: Ахметханов Р. М., Садритдинов А. Р., Захаров В. П., Шуршина А. С., Кулиш Е. И. Изучение вязкоупругих характеристик вторичного полимерного сырья в присутствии природных наполнителей растительного происхождения. *Конденсированные среды и межфазные границы*. 2020;22(1): 11–17. DOI: <https://doi.org/10.17308/kcmf.2020.22/2471>

1. Введение

Разработка и создание полимерных композиционных материалов на основе вторичного полимерного сырья является серьезной научной задачей, особенно важной в случае использования таких крупнотоннажных полимеров, как полиэтилен или полипропилен [1–6]. Среди широ-

чайшего круга используемых при создании композитов наполнителей особый интерес представляют наполнители природного происхождения, получаемые на основе растительного сырья [7–13]. Введение природных наполнителей в полимерную матрицу позволяет не только снизить стоимость продукции за счет замены части полимера на дешевое сырье, но и частично решить

✉ Кулиш Елена Ивановна, e-mail: onlyalena@mail.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

проблему биоразложения материала, а также создать материал с новыми свойствами [14–23].

Учитывая, что значения скоростей сдвига, реализуемых в процессах переработки полимеров методами экструзии и литья под давлением, достигает 1000 с^{-1} , очень высока вероятность возникновения нормальных напряжений, вызванных проявлением упругих свойств расплавом полимера. Введение наполнителя в еще большей степени может затруднить переработку, вследствие увеличения вязкости расплава полимера [24]. Более того, может иметь место не только увеличение вязкой, но и упругой составляющей вязкого течения. При этом принципиальная важность определения упругой составляющей связана с тем, что именно упругость может стать фактором, определяющим аномалии течения, такие как срыв струи, эффект Вайсенберга и др., которые ограничивают производительность и могут привести к браку [25–27].

Целью данной работы стало комплексное изучение реологических характеристик полимерной композиции на основе вторичного полипропилена (ВПП) и наполнителей растительного происхождения. При выборе наполнителя учитывались следующие требования:

- низкая себестоимость и доступность;
- экологическая безопасность продуктов биоразложения;
- возможность измельчения на стандартном измельчительном оборудовании;
- высокая температура термической деградации;
- быстрое биоразложение в условиях окружающей среды.

2. Экспериментальная часть

В работе использовали образец ВПП, соответствующий первичному полипропилену (ПП) марки FF/3350, представляющий собой дробленый материал из некондиционных изделий, производимых методом литья под давлением в технологическом производстве ООО «ЗПИ Альтернатива» (Россия, Республика Башкортостан, г. Октябрьский).

В качестве наполнителя были рассмотрены материалы, являющиеся отходами производств – лузга гречихи, полова (мякина) пшеницы, рисовая шелуха и древесная мука. Характеристики используемых наполнителей представлены в табл. 1. Перед смешением наполнитель подвергали сушке в термощкафу при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 5 ч.

Моделирование процесса переработки полимерных материалов осуществляли в рас-

плаве на лабораторной станции (пластограф) «PlastographEC» (Brabender, Германия) в течение 15 мин при нагрузке 200 Н при температуре $180 \text{ }^\circ\text{C}$. Количество загружаемого полимерного композита составляло 25 г. Деформационно-прочностные свойства материала определяли на прессованных образцах материала толщиной 1 мм. Прессование осуществляли на автоматическом гидравлическом прессе «AutoMH-NE» (Carver, США) при $210 \text{ }^\circ\text{C}$ и выдержке под давлением 7000 кгс в течение 3 мин. Физико-механические свойства полимерных композитов при разрыве определяли согласно ГОСТ 11262-2017 на разрывной машине «ShimadzuAGS-X» (Shimadzu, Япония) при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и скорости движения подвижного захвата разрывной машины 1 мм/мин. Показатель текучести расплава (melt flow rate (MFR)) определяли при $190 \text{ }^\circ\text{C}$ и массе груза 2.16 кг на измерителе индекса текучести расплава. Деление композиции на отрезки производили каждые 30 с, полученные образцы взвешивали и рассчитывали среднюю массу. Реологические измерения проводили на модульном динамическом реометре Haake MarsIII при $220 \text{ }^\circ\text{C}$ в режиме осцилляции в диапазоне частот осцилляции от 0.01 до 100 Гц.

В осцилляционном режиме к образцу прикладывают переменное напряжение сдвига с малой амплитудой $\tau(t) = \tau_0 e^{i\omega t}$ и регистрируют его деформацию $\gamma(t) = \gamma_0 e^{i(\omega t + \delta)}$, имеющую фазовый сдвиг δ относительно напряжения. Угловая скорость ω связана с частотой колебаний следующим образом:

$$\omega = 2\pi f,$$

где частота f дана в Гц (1 Гц = цикл/с); размерность ω – 1/с или рад/с.

Общее сопротивление образца приложенной деформации, называемое комплексным модулем G^* определяют как:

$$G^* = G' + iG'' = \frac{\tau_0(t)}{Y_E(t)}.$$

Таблица 1. Характеристики используемых наполнителей

Наполнитель	Химический состав, % [28–31]		Средний диаметр, мм
	целлюлоза	лигнин	
Древесная мука	42.0	31.0	0.17
Рисовая шелуха	48.9	19.1	0.20
Лузга гречихи	29.4	34.7	0.24
Полова (мякина) пшеницы	51.0	19.5	0.19

В этом уравнении величины G' и G'' обозначают:

$$G' = G^* \cos \delta = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cos \delta - \text{модуль накоплений};$$

$$G'' = G^* \sin \delta = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \sin \delta - \text{модуль потерь}.$$

Термин «модуль накопления» указывает на то, что энергия напряжения была временно запасена в процессе испытания, но она может быть впоследствии возвращена. Термин «модуль потерь» говорит о том, что энергия, использованная для инициирования течения, необратимо перешла в теплоту («потеряна»).

3. Результаты и обсуждение

Хорошо известно, что в соответствии с законом Ньютона, вязкость является величиной постоянной, которая не должна зависеть ни от скорости сдвига $\dot{\gamma}$, ни от частоты воздействия f (при проведении испытаний в режиме осцилляции), т. е. $\eta \sim f^n$, где $n = 0$. Показатель n легко определяется как тангенс угла наклона логарифмической зависимости вязкости от частоты осцилляции. Однако зачастую течение жидкостей не подчиняется закону Ньютона. Например, при течении псевдопластичных жидкостей, к которым относят и растворы, и расплавы полимеров, характерно уменьшение вязкости с увеличением скорости сдвига (частоты осцилляции), а значение показателя n в степенной зависимости вязкости от скорости сдвига или частоты осцилляции имеет значения $n < 1$.

На рис. 1 представлены кривые зависимости комплексной вязкости от частоты осцилляционного воздействия в прямых и логарифмических координатах для расплава ВПП белый мастербач, наполненного 2 и 10 % масс. древесной муки. Для остальных наполнителей кривые имеют аналогичный вид.

Анализ полученных данных позволяет утверждать, что, во-первых, расплавы ВПП как в отсутствие наполнителя, так и в их присутствии, ведут себя как типичные псевдопластичные жидкости, вязкость которых уменьшается с увеличением частоты осцилляции. Во-вторых, для всех изученных наполнителей их добавление в композицию приводит к однозначному увеличению вязкости. При этом, чем больше наполнителя содержит композиция, тем сильнее выражена аномалия вязкости. Об этом свидетельствуют отклонения тангенса угла наклона в зависимости комплексной вязкости от частоты, определенной в логарифмических координатах (табл. 2). Для всех изученных нами систем тангенс угла наклона отличен от нуля, причем, чем больше наполнителя содержится в композиции, тем больше (по абсолютному значению) значение тангенса угла наклона, характеризующее степень выраженности аномалии вязкости. Видно, что для всех четырех изучаемых наполнителей – древесной муки, рисовой шелухи, мякины и лужги гречихи, значения тангенса наклона отклоняются от нулевого значения, характеризующего ньютоновскую жидкость.

Совокупные данные представлены в табл. 2.

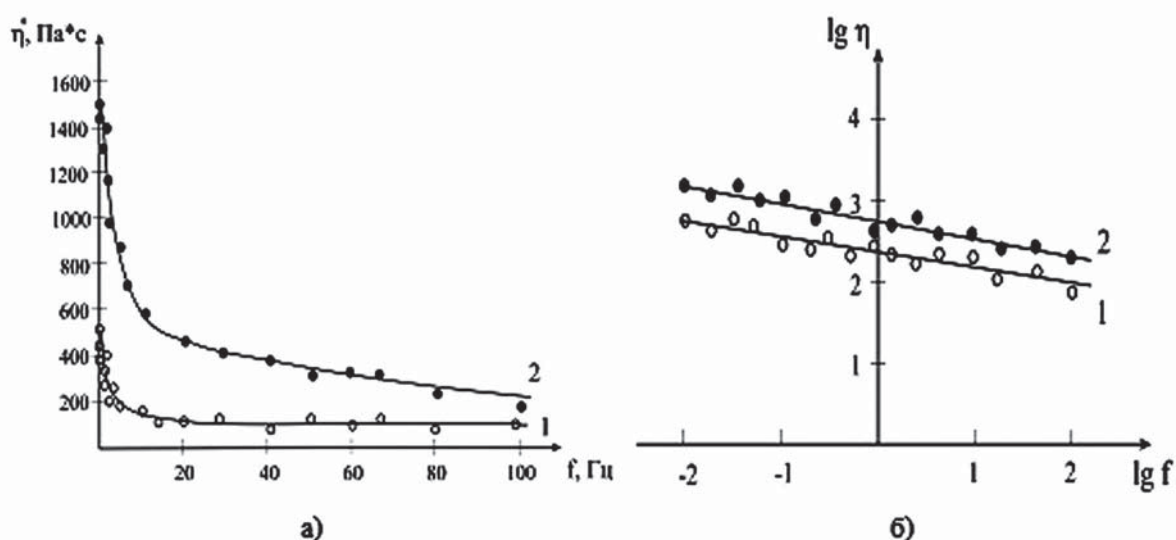


Рис. 1. Зависимость комплексной вязкости ВПП, определенной в осцилляционном режиме в прямых (а) и логарифмических (б) координатах, содержащего 2 (1) и 10 (2) % масс. древесной муки

Таблица 2. Результаты исследования аномалии вязкости вторичных полимеров, наполненных природными наполнителями

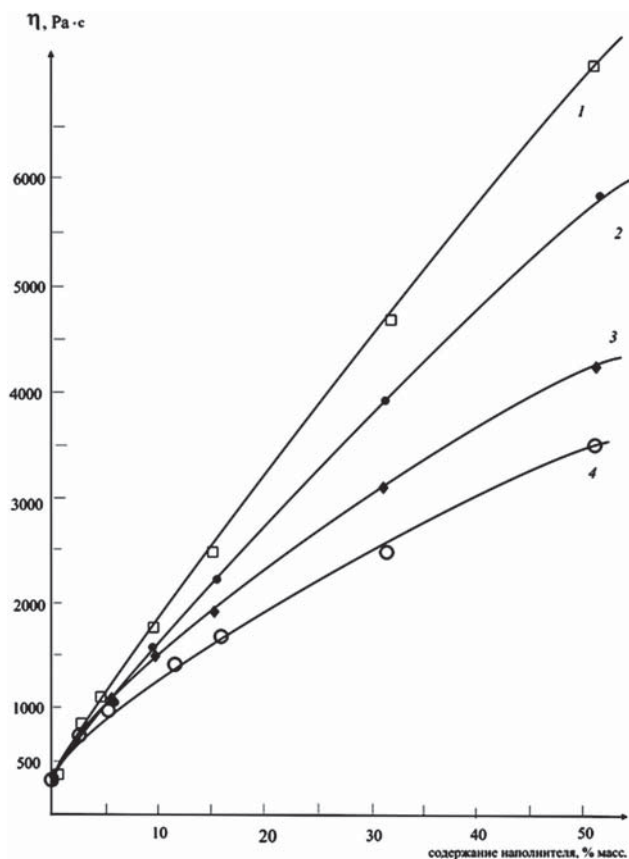
Полимер	Наполнитель	Содержание наполнителя, % масс.	Тангенс угла наклона в зависимости вязкости от частоты осцилляции
белый мастербач	мякина	2	-0.15
		5	-0.16
		10	-0.18
		15	-0.21
		30	-0.26
	лузга гречихи	2	-0.15
		5	-0.16
		10	-0.17
		15	-0.18
		30	-0.19
	древесная мука	2	-0.15
		5	-0.16
		10	-0.18
		15	-0.21
		30	-0.27
	рисовая шелуха	2	-0.12
		5	-0.15
		10	-0.16
		15	-0.18
		30	-0.24

В-третьих, по мере увеличения содержания наполнителя в системе не только увеличиваются их вязкие свойства, о чем свидетельствуют значения комплексной вязкости (рис. 2) и MFR (рис. 3), но и их упругие характеристики. Этот вывод может быть сделан на основании анализа зависимостей модулей накоплений и потерь от частоты осцилляции.

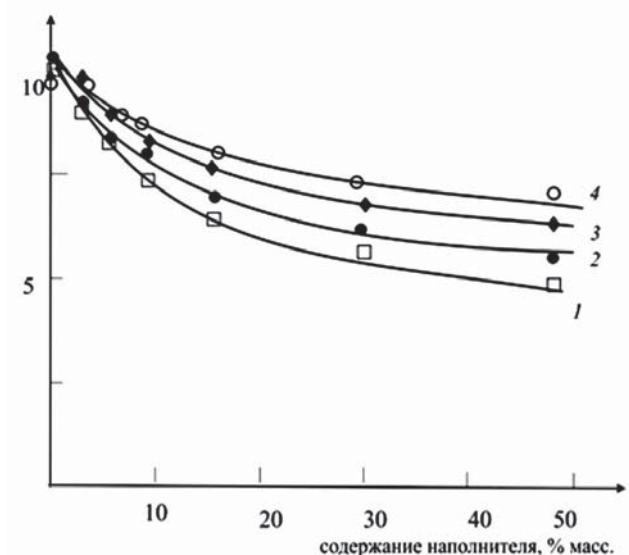
Установлено, что по мере наполнения полимера растительными компонентами, происходит закономерное увеличение модуля накоплений (рис. 4). Такое поведение системы является характерным для систем, проявляющих свои упругие свойства. Наибольшие значения модуля накоплений имеют композиты, наполненные рисовой шелухой и древесной мукой. Наполнители лузга гречихи и мякина повышают упругие свойства расплава ВПП в меньшей степени.

Значение модуля потерь от содержания наполнителя в композите проходит через максимум (рис. 5).

Более того, можно отметить, что при содержании наполнителя в композиции более

**Рис. 2.** Зависимость комплексной вязкости, определенной при частоте осцилляции 0,01 Hz от содержания в системе рисовой шелухи (1), древесной муки (2), лузги гречихи (3) и мякины (4)

ПТР, г/10 мин.

**Рис. 3.** Зависимость ПТР композиции на основе ВПП от содержания в системе рисовой шелухи (1), древесной муки (2), лузги гречихи (3) и мякины (4)

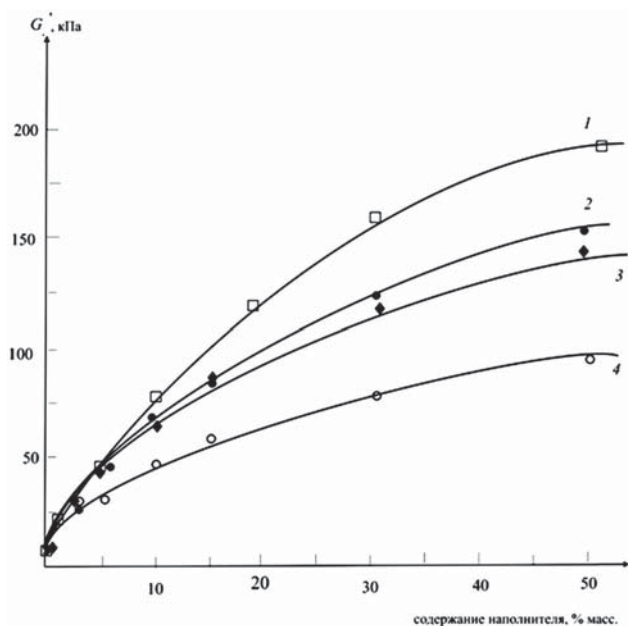


Рис. 4. Зависимость модуля накоплений, определенного при частоте осцилляции 100 hertz, от содержания в системе рисовой шелухи (1), древесной муки (2), лузги гречихи (3) и мякины (4)

10 масс.%. общее увеличение сопротивляемости системы процессу течения обусловлено именно увеличением упругой составляющей вязкого течения.

Изучение вязкоупругих характеристик вторичного полимерного сырья в присутствии природных наполнителей растительного происхождения позволяет проанализировать влияние природы наполнителя на стойкость композитов к механическим воздействиям.

Например, наблюдается корреляция на качественном уровне реологических данных, определенных в осцилляционном режиме, и значениями модуля упругости из данных деформационно-прочностных измерений. Можно отметить, что по характеру изменений модуля Юнга E все анализируемые наполнители действуют на полимер однозначным образом – претерпевают экстремальное изменение в области состава, соответствующего 10 масс.% наполнителя (рис. 6). Максимальные показатели модуля Юнга имеют композиты, наполненные рисовой шелухой и древесной мукой, т. е. именно те, для которых максимальное значение имели модули накоплений.

Таким образом, на основании проделанного эксперимента, проведенного в диапазоне частот осцилляции от 0.01 до 100 Гц, для анализируемого образца ВПП максимальные значения вязкости реализуются при использовании в ка-

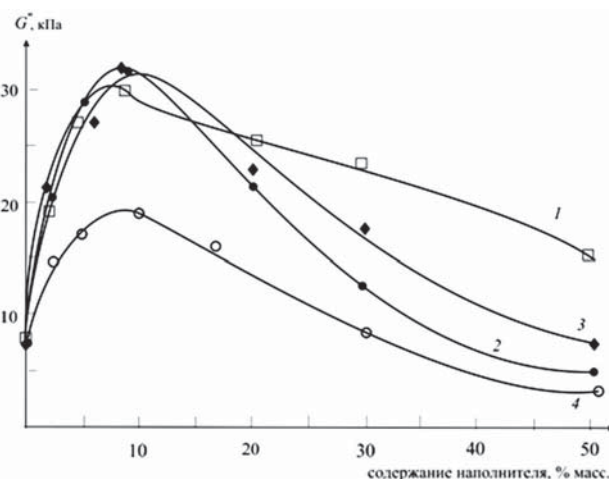


Рис. 5. Зависимость модуля потерь, определенного при частоте осцилляции 100 hertz от содержания в системе рисовой шелухи (1), древесной муки (2), лузги гречихи (3) и мякины (4)

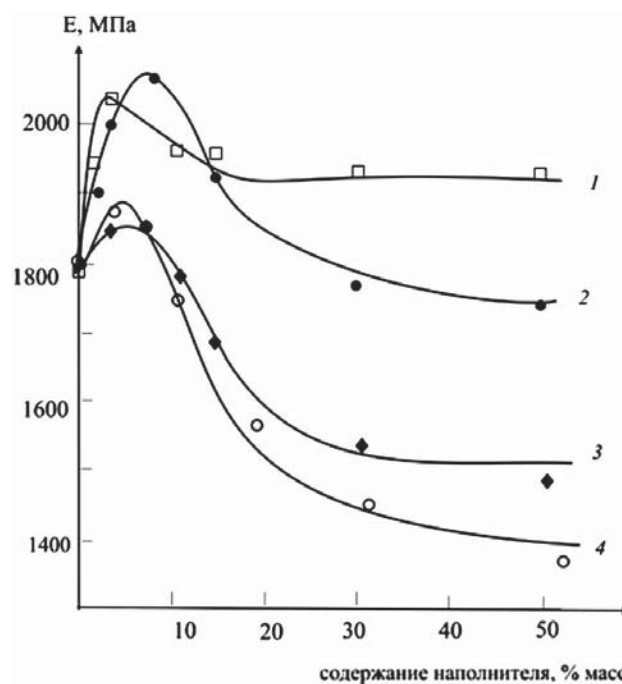


Рис. 6. Зависимость модуля Юнга композиции на основе ВПП от содержания в системе рисовой шелухи (1), древесной муки (2), лузги гречихи (3) и мякины (4)

честве наполнителя рисовой шелухи и древесной муки, а минимальные – для мякины и лузги гречихи. Именно при использовании в качестве наполнителей рисовой шелухи и древесной муки формируются композиты, характеризующиеся высокими значениями модуля накоплений и соответственно повышенными значениями модуля Юнга. Оптимальным содержанием

наполнителя является значение, соответствующее 10 масс.%, при превышении которого упругие свойства расплава полимера возрастают настолько, что это сопровождается ухудшением перерабатываемости композитов и их деформационно-прочностных показателей.

4. Выводы

1. Введение наполнителя во всех изученных случаях приводит к увеличению комплексной вязкости и уменьшению MFR. Чем больше наполнителя содержит композиция, тем сильнее выражена аномалия вязкости, т. е. сильнее проявляется зависимость вязкости от частоты осцилляции.

2. По мере увеличения содержания наполнителя в системе не только увеличиваются их вязкие свойства, но и их упругие характеристики. При содержании наполнителя в композиции более 10 масс.% общее увеличение сопротивляемости системы процессу течения обусловлено именно увеличением упругой составляющей вязкого течения, поскольку модуль накопленных продолжает расти, а модуль потерь начинает уменьшаться.

3. По характеру изменений модуля Юнга все анализируемые наполнители действуют на полимер однозначным образом – имеют максимальные значения в области состава, соответствующего 10 масс.% наполнителя. Таким образом, именно состав 10 масс.ч. наполнителя следует признать оптимальным.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

Список литературы

1. Айзинсон И.Л. *Основные направления развития композиционных термопластичных материалов*. М.: Химия; 1988. 48 с.
2. Ричардсон М. *Промышленные полимерные композиционные материалы*. М.: Химия; 1980. 472 с.
3. Берлин Ал. Ал., Вольфсон С. А., Ошмян В. Г., Ениколопян Н. С. *Принципы создания композиционных материалов*. М.: Химия; 1990. 238 с.
4. Черкашина А. Н., Рассоха А. Н. Полимерные композиции на основе вторичного полипропилена. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2018;33(1–8): 125–131. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32366668>
5. Тверитникова И. С., Кириш И. А., Помогова Д. А., Банникова О. А., Безнаева О. В., Романова В. А. Разработка многослойного упаковочного

материала на основе полиолефиновых смесей, модифицированных сополимером этилена с пропиленом, для хранения пищевых продуктов. *Техника и технология пищевых производств*. 2019;49(1): 135–143. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39276460>

6. Kakhramanov N. T., Mustafayeva F. A., Allakhverdiyeva Kh. V. Technological features of extrusion of composite materials based on mixtures of high and low density polyethylene and mineral fillers. *Азербайджанский химический журнал*. 2019;4: 11–16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41570283>

7. Шкуро А. Е., Глухих В. В., Кривоногов П. С., Стоянов О. В. Наполнители аграрного происхождения для древесно-полимерных композитов (обзор). *Вестник Казанского технологического университета*. 2014;17(21): 160–163. Режим доступа: https://www.kstu.ru/article.jsp?id_e=23840&id=1910

8. Кац Г. С., Милевски Д. В. (ред.) *Наполнители для полимерных композиционных материалов*. М.: Химия; 1981. 736 с.

9. Алимов И. М., Магруппов Ф. А., Ильхамов Г. У. Влияние фракционного состава древесных частиц на физико-механические свойства древесно-полимерных материалов на основе вторичных полиолефинов. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2019;1: 18–25. Режим доступа: http://dop1952.ru/catalogue-statue_id-298.html

10. Dobah, Y., Zampetakis, I., Ward, C., Scarpa, F. Thermoformability characterisation of Flax reinforced polypropylene composite materials. *Composites Part B: Engineering*. 2020;184(1): 107727. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107727>

11. Prachayawarakorn J., Pomdage W. Effect of carrageenan on properties of biodegradable thermoplastic cassava starch/low-density polyethylene composites reinforced by cotton fibers. *Materials and Design*. 2014;61: 264–269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.04.051>

12. Ibrahim H., Farag M., Megahed H., Mehanny S. Characteristics of starch-based biodegradable composites reinforced with date palm and flax fibers. *Carbohydr Polym*. 2014;101(1): 11–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.051>

13. Cavdar A. D., Mengeloplü F., Karakus K. Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2015;60: 6–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.078>

14. Faruk O., Bledzki A. K., Fink H. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Prog. Polym. Sci.* 2012;37(11): 1552–1596. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>

15. Boudenne A., Ibos L., Candau Y., Thomas S. *Handbook of multiphase polymer systems*. Chichester:

John Wiley and Sons Ltd.; 2011. 1034 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119972020>

16. Mohanty A. K., Misra M., Drzal L. T. *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. USA: Taylor&Francis Group; 2005. 896 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203508206>

17. Faruk O., Sain M. *Biofiber reinforcements in composite materials*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.; 2015. 772 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-122-1.50028-9>

18. Jose J., Nag A., Nando G. B. Environmental ageing studies of impact modified waste polypropylene. *Iran Polym. J.* 2014;23(8): 619–636. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13726-014-0256-5>

19. Utracki L. A. *Polymer blends handbook*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2002. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja0335465>

20. Wang Y.-Z., Yang K.-K., Wang X.-L., Zhou Q., Zheng C.-Y., Chen Z.-F. Agricultural application and environmental degradation of photo-biodegradable polyethylene mulching films. *J. Polym. Environ.* 2004;12: 7–10. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:JOOE.0000003122.71316.8e>

21. Koutny M., Sancelme M., Dabin C., Pichon N., Delort A.-M., Lemaire J. Acquired biodegradability of polyethylenes containing pro-oxidant additives. *Polym. Degrad. Stab.* 2006;91(7): 1495–1503. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.10.007>

22. De La Orden M. U., Montes J. M., Martínez Urreaga J., Bento A., Ribeiro M. R., Pérez E., Cerrada M. L. Thermo and photo-oxidation of functionalized metal-locene high density polyethylene: Effect of hydrophilic groups. *Polym. Degrad. Stab.* 2015;111(10): 78–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.10.023>

23. Yusak N. A. M., Mohamed R., Ramli M. A. Mechanical analyses of polyethylene/polypropylene blend with photodegradant. *J. Appl. Sci. Agric.* 2014;9(11): 300–305.

24. Липатов Ю. С. *Физическая химия наполненных полимеров*. М.: Химия; 1977. 304 с.

25. Schramm G. *A practical approach to rheology and rheometry*. 2nd edition. Federal Republic of Germany, Karlsruhe: Gebrueder HAAKE GmbH; 2000. 291 p.

26. Соколов А. В., Roedolf D. Введение в практическую реологию полимеров. *Пластические массы*. 2018;(5–6): 31–34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35193338>

27. Lazdin R. Y., Zakharov V. P., Shurshina A. S., Kulish E. I. Assessment of rheological behavior of secondary polymeric raw materials in the conditions corresponding to processing of polymers by method of extrusion and injection molding. *Letters on Materials*. 2019;9(1): 70–74. DOI: <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2019-1-70-74>

28. Bledzki A. K., Mamuna A. A., Volk J. Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: The effect of fibre physical, chemical and surface properties. *Composites Science and Technology*. 2010;70(5): 840–846. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.01.022>

29. Nourbakhsh A., Ashori A., Tabrizi A. K. Characterization and biodegradability of polypropylene composites using agricultural residues and waste fish. *Composites Part B: Engineering*. 2014;56: 279–283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.028>

30. Ashori A., Nourbakhsh A. Mechanical behavior of agro-residue-reinforced polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2008;111(5): 2616–2620. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.29345>

31. Вураско А. В., Минакова А. Р., Гулемина Н. Н., Дрикер Б. М. Физико-химические свойства целлюлозы, полученной окислительно-органо-солевым способом из растительного сырья. *Леса России в XXI веке: Материалы первой международной научно-практической интернет-конференции, 30 июня 2009, Санкт-Петербург*. СПб.: Издательство: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова; 2009. с. 126–130.

Информация об авторах

Ахметханов Ринат Маснавич, д. х. н., доцент, декан, Башкирский государственный университет, Уфа, Российская Федерация; e-mail: rimasufa@rambler.ru. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0016-0218>.

Садридино Айнур Радикович, аспирант, Башкирский государственный университет, Уфа, Российская Федерация; e-mail: aynur.sadritdinov@mail.ru. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0517-9834>.

Захаров Вадим Петрович, д. х. н., профессор, проректор по научной и инновационной работе, Башкирский государственный университет, Уфа, Российская Федерация; e-mail: zaharovvp@mail.ru. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5997-1886>.

Шуришина Анжела Саматовна, к. х. н., доцент, Башкирский государственный университет, Уфа, Российская Федерация; e-mail: anzhela_murzagil@mail.ru. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6737-7265>.

Кулиш Елена Ивановна, д. х. н., профессор, заведующий кафедрой, Башкирский государственный университет, Уфа, Российская Федерация; e-mail: onlyalena@mail.ru. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6240-0718>.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.