

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 678.7-1:544.23

DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-4-56-63



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

Ершова О.В., Медяник Н.Л., Мишурина О.А., Бессонова Ю.А., Багреева К.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ свойств биоразлагаемых и синтетических полимерных материалов. Цель работы заключалась в определении физико-механических характеристик биоразлагаемых и синтетических полимеров: водопоглощения, стойкости к проколу, деформационно-прочностных и теплофизических характеристик различных биоразлагаемых образцов на основе полилактидов (PLA) и синтетических полимерных образцов (полипропилена и полиэтилена) с целью рассмотрения возможности улучшения прочностных свойств готовой продукции. Также в работе представлены результаты исследования водопоглощающей способности полимерных материалов различной природы. Приведены результаты испытаний, позволяющие установить температурно-временные параметры переработки полилактида по расплавному методу. Проанализированы данные, полученные методом ДСК по установлению релаксационных и фазовых переходов, происходящих в полимере при термолизе. Кроме того, были рассмотрены экологические аспекты практического применения указанных полимерных материалов. В ходе проведения эксперимента были проведены экспериментальные исследования химических свойств биоразлагаемых материалов на основе полилактидов (PLA) китайского производства, представлен сравнительный анализ физико-механических характеристик исследуемых синтетических и биоразлагаемых полимеров. Рассмотрены основные преимущества и недостатки исследуемых образцов полимеров. Сформулированы выводы о возможности и безопасности применения представленных материалов в различных отраслях народного хозяйства. На основании полученных результатов эксперимента установлено, что синтетические полимерные материалы по всем основным значениям физико-механических характеристик превосходят биоразлагаемые полимерные материалы, но при этом они уступают в экологичности их использования. Отмечено, что для улучшения эксплуатационных свойств готовой продукции в случае использования биоразлагаемых полимеров рекомендуется использование упрочняющих и гидрофобизирующих добавок.

Ключевые слова: полилактид, биоразлагаемые полимеры, синтетические полимеры, водопоглощение, деформационно-прочностные, теплофизические характеристики.

© Ершова О.В., Медяник Н.Л., Мишурина О.А., Бессонова Ю.А., Багреева К.В., 2021

Для цитирования

Сравнительный анализ физико-механических свойств биоразлагаемых и синтетических полимеров / Ершова О.В., Медяник Н.Л., Мишурина О.А., Бессонова Ю.А., Багреева К.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т.19. №4. С. 56–63. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-4-56-63>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BIODEGRADABLE AND SYNTHETIC POLYMERS

Ershova O.V., Medyanik N.L., Mishurina O.A., Bessonova Yu.A., Bagreeva K.V.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. The paper presents a comparative analysis of the properties of biodegradable and synthetic polymer materials. The purpose of the research was to determine the physical and mechanical characteristics of biodegradable and synthetic polymers: water absorption, puncture resistance, deformation strength and thermophysical characteristics of various biodegradable samples based on polylactides (PLA) and synthetic polymer samples (polypropylene and polyethylene) in order to consider the possibility of improving the strength properties of finished products. The paper also presents the results of a study on the water-absorbing ability of polymer materials of various nature. It describes the results of tests to establish temperature and time parameters of polylactide processing by the melt production method. The authors analyzed the data obtained by the DSC method to determine relaxation and phase transitions occurring in the polymer during thermolysis. In addition, the paper considers environmental aspects of the practical application of these polymer materials. During the experiment, the authors have studied the chemical properties of biodegradable materials based on polylactides (PLA) produced in China, carried out a comparative analysis of the physical and mechanical characteristics of the synthetic and biodegradable polymers under study. The authors have outlined main advantages and disadvantages of the polymer samples under study and made conclusions about the possibility and safety of using the presented materials in various sectors of the national economy. The experimental results have shown that synthetic polymer materials are superior to biodegradable ones in all basic values of physical and mechanical characteristics, but at the same time they are inferior in environmental friendliness of their use. It is noted that in order to improve the operational properties of finished products, in case of biodegradable polymers it is recommended to use strengthening and hydrophobic additives.

Keywords: polylactide, biodegradable polymers, synthetic polymers, water absorption, deformation strength, thermophysical characteristics.

For citation

Ershova O.V., Medyanik N.L., Mishurina O.A., Bessonova Yu.A., Bagreeva K.V. Comparative Analysis of Physical and Mechanical Properties of Biodegradable and Synthetic Polymers. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021, vol. 19, no. 4, pp. 56–63. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-4-56-63>

Введение

Сегодня проблема утилизации пластиковых отходов обострилась до уровня современной экологической катастрофы, связанной с чрезмерным потреблением полимерных материалов. По данным статистики совокупная масса произведенных за всю историю человечества пластмасс превышает 6 миллиардов тонн, из которых переработке или уничтожению подверглись лишь 20% [1].

В настоящее время ~30% полимерных отходов сжигается, 30% – перерабатывается вторично, и около 30% – не утилизируется вовсе. Крупные страны, стараясь решить эти проблемы, всё чаще задумываются о создании и использовании инновационных полимерных материалов, как частный случай – биополимеры. Это полимеры, которые сохраняют эксплуатационные свойства только в течение периода потребления и использования [2–4]. Срок жизни биоразлагаемых полимеров, как правило, составляет до нескольких месяцев. Счи-

тается, что биоразлагаемые материалы по своим свойствам схожи с синтетическими полимерами [3–5]. Поэтому они способны заменить пластмассы, полимерные пленки и другие упаковочные материалы. Упаковка из биоразлагаемых полимерных материалов в отличие от синтетической полимерной упаковки обладает рядом преимуществ, заключающихся в легкости вторичной переработки и решении экологических проблем. Именно поэтому изучение свойств биополимеров и сравнение их с синтетическими материалами является актуальным научным направлением [3, 6, 7].

Целью работы является определение физико-механических характеристик: водопоглощения, стойкости к проколу, деформационно-прочностных и теплофизических характеристик различных биоразлагаемых полимерных материалов на основе полилактидов (PLA) и образцов синтетических полимеров с целью рассмотрения возможности улучшения прочностных свойств готовой продукции.

Полученные результаты и их обсуждение

В ходе проведения экспериментальных исследований были изучены свойства биополимеров на основе полилактидов (PLA) различных производителей (Китай), обозначенных в работе под номерами №1–5, произведенных в Китае. В работе проведен сравнительный анализ физико-механических характеристик биоразлагаемых материалов и наиболее широко используемых синтетических полимерных материалов полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и полипропилена (ПП).

В ходе исследования использовались следующие методики: методика испытания полимерных пленок на растяжение согласно ГОСТ 14236-81 «Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение». Определение водопоглощения проводилось согласно ГОСТ 4650-2014 (ISO 62:2008) «Пластмассы. Методы определения водопоглощения». Определение стойкости к проколу проводилось по ГОСТ 12.4.118-82 «Пленочные полимерные материалы и искусственные кожи для средств защиты рук. Метод определения стойкости к проколу». Исследование теплофизических характеристик и состава биоразлагаемых полимеров методом синхронного термического анализа проводилось согласно ISO 11357 «Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия».

Результаты экспериментального исследования по водопоглощению анализируемых образцов представлены в **табл. 1**. Анализ полученных результатов показал, что наилучшая водопоглощающая способность отмечена у образцов PLA №2. Кроме того, в ходе исследования на водопоглощение полимерных материалов было установлено, что данный показатель в целом выше у биоразлагаемых материалов, чем у синтетических. Это позволяет сделать вывод о том, что биополимеры более сильно подвержены разложению в водных средах, в сравнении с синтетическими полимерными материалами [8, 9].

Результаты испытания исследуемых образцов по показателю стойкости к проколу представлены в **табл. 2**. В результате исследования было установлено, что стойкость к проколу биоразлагаемых и синтетических материалов сопоставима, а в некоторых случаях и значительно выше, следовательно, рассматриваемые образцы полилактидных материалов могут найти практическое применение для получения транспортной упаковки, а также в производстве упаковочных материалов для пищевой продукции [1, 3, 10, 11].

Таблица 1. Результаты испытаний полимерных материалов по показателям водопоглощения
Table 1. Results of tests of polymer materials on water absorption indicators

Исследуемые образцы полимерных материалов	Масса образца до испытания m_1 , г	Масса образца после испытания m_2 , г	Водопоглощение C , %
PLA №1	0,149650	0,16840	7,94423
PLA №2	0,04955	0,06605	15,32531
PLA №3	0,01015	0,01125	10,48361
PLA №4	0,06545	0,06670	9,28450
PLA №5	0,03291	0,04245	5,70109
ПЭНП	0,04190	0,04551	9,87996
ПП	0,07170	0,07475	2,98851

Таблица 2. Результаты испытаний полимерных материалов по показателям стойкости к проколу
Table 2. Results of tests of polymer materials in terms of puncture resistance

Исследуемые образцы полимерных материалов	Толщина образца, мм	Усилие прокола, Н	Нормальное растягивающее напряжение при проколе σ , МПа
PLA №1	0,03	0,83	1,057
PLA №2	0,03	0,5	0,637
PLA №3	0,06	1,06	1,35
PLA №4	0,02	0,43	0,547
PLA №5	0,03	0,4	0,509
ПЭНП	0,02	0,56	0,713
ПП	0,02	0,4	0,509

Результаты прочностных характеристик исследуемых образцов полимерных материалов представлены в **табл. 3**. Испытание образцов на растяжение проводилось в двух направлениях – поперечном и продольном. Анализ полученных результатов показал что, максимальные значения растяжения материала (при поперечном направлении) отмечены у синтетического полимера ПЭНП. Максимальные значения растяжения материала (в продольном направлении) характерны для образца PLA №2. Из этого можно сделать вывод, что полилактидные пленки ориентированы в двух направлениях, но в поперечном направлении прочность полилактидных материалов при разрыве выше. Полилактидные плёнки очень эластичны, хорошо тянутся и практически не уступают по данному параметру синтетическим полимерным материалам [2, 6, 12].

Таблица 3. Результаты испытаний полимерных материалов по деформационно-прочностным показателям
 Table 3. Results of tests of polymer materials on deformation and strength indicators

Исследуемые образцы полимерных материалов	Прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Прочность при разрыве, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
Поперечное направление				
PLA №1	2,16	18,964	0,91	35,153
PLA №2	2,7	5,638	0,77	45,974
PLA №3	6,21	6,708	4,1	9,336
PLA №4	2,22	5,45	1,39	11,626
PLA №5	1,6	4,45	0,45	20,584
ПЭНП	4,84	14,968	1,78	26,087
ПП	4,01	2,24	1,16	41,261
Продольное направление				
PLA №1	1,4	8,3	0,38	32,283
PLA №2	3,64	10,01	1,01	20,597
PLA №3	8,6	8,27	2,11	34,56
PLA №4	2,73	11,12	1,33	18,049
PLA №5	2,7	18,73	0,946	25,08
ПЭНП	4,7	39,84	2,43	45,902
ПП	1,99	3,764	0,53	20,533

Изучение теплофизических характеристик биоразлагаемых материалов и их состава проводили методом термогравиметрической и дифференциально-сканирующей колориметрии (ТГ и ДСК) на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter (NETZSCH, Германия).

Для проведения испытания образцы исследуемого материала помещали в алюминиевый тигель. Тигель с образцами материала закрывали крышкой и устанавливали на держателе прибора с термопарой типа S чувствительностью 1 мкВт. По заданной температурной программе (нагрев от 30 до 600°C со скоростью 10°C/мин) проводили испытание в атмосфере аргона (20 мл/мин). При помощи электронной системы и пакета программ NETZSCH-Proteus осуществлялся контроль и сбор данных. Анализ данных выполнялся в программе Proteus Analysis [1, 13].

Кривые синхронного термического анализа образца PLA №1 представлены на **рис. 1**.

На ДСК-кривой отмечено несколько эндотермических пиков. Пик при 42,9°C характеризует удаление из образца легколетучих компонентов, к которым могут относиться вода, растворители и ряд других веществ. Данная кривая имеет два пика плавления (пики при 145,1 и 161,3°C). Остальные указанные пики соответ-

ствуют стадиям разложения органических компонентов, входящих в состав полилактидных материалов.

На кривой производной по термогравиметрической кривой (ДТГ-кривой) выделено четыре пика разложения (пики при 40,1; 324,7; 377,4 и 513,0°C). Пик с вершиной при температуре 40,1°C характеризует удаление из образца легколетучих компонентов (соответствующая потеря массы, установленная по термогравиметрической кривой (ТГ-кривой), составляет 0,79%). При 270,7°C начинается процесс разложения полилактида (ПЛА), который протекает в две стадии (пики при 324,7 и 377,4°C) с общей потерей массы 65,71%. При 513,0°C разлагается более термостойкий компонент материала с общей потерей массы 12,08%. Указанные потери массы для каждого из компонентов приблизительно соответствуют их долям (масс.) в составе материала.

По ТГ-кривой определено, что остаточная масса при температуре 599,7°C равна 17,82%. Её образуют углерод и неорганические компоненты, которые, например, могут входить в состав наполнителя.

Кривые синхронного термического анализа образца PLA №3 представлены на **рис. 2**.

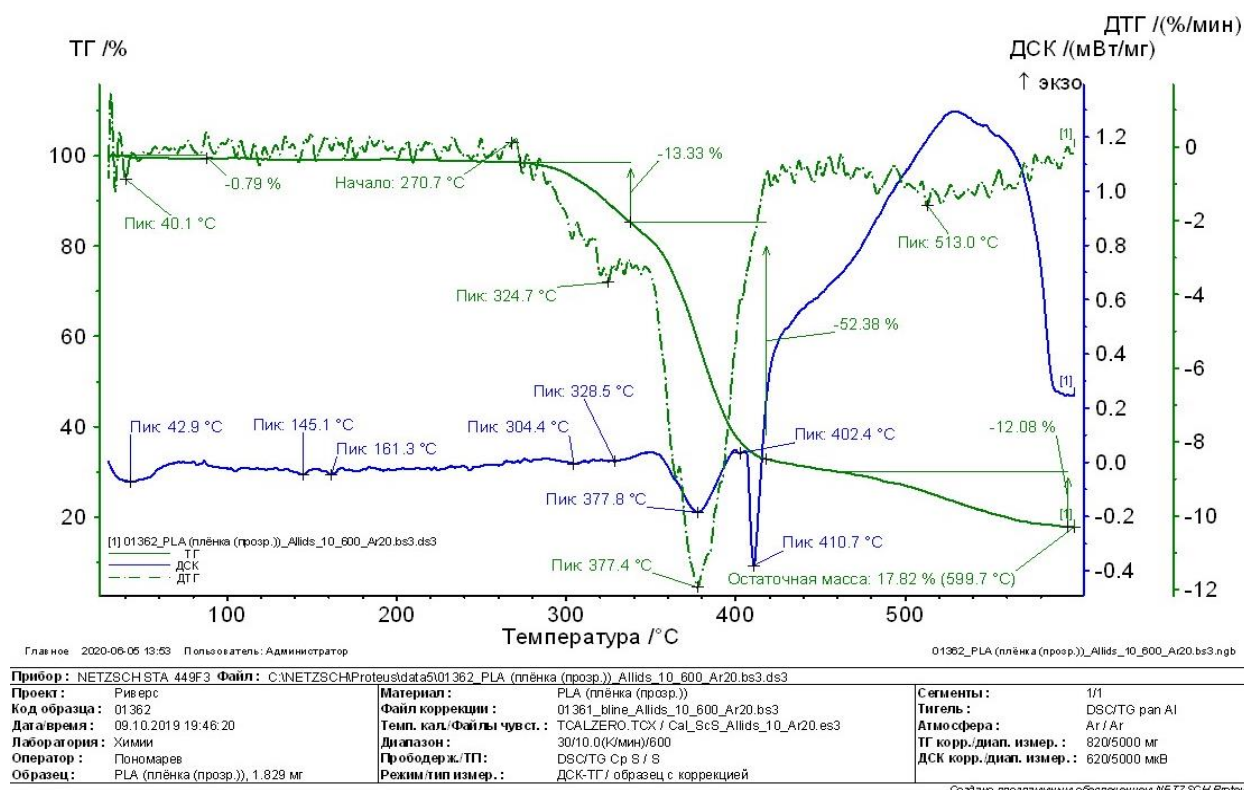


Рис. 1. Кривые синхронного термического анализа образца PLA №1

Fig. 1. Curves of simultaneous thermal analysis of sample PLA No. 1

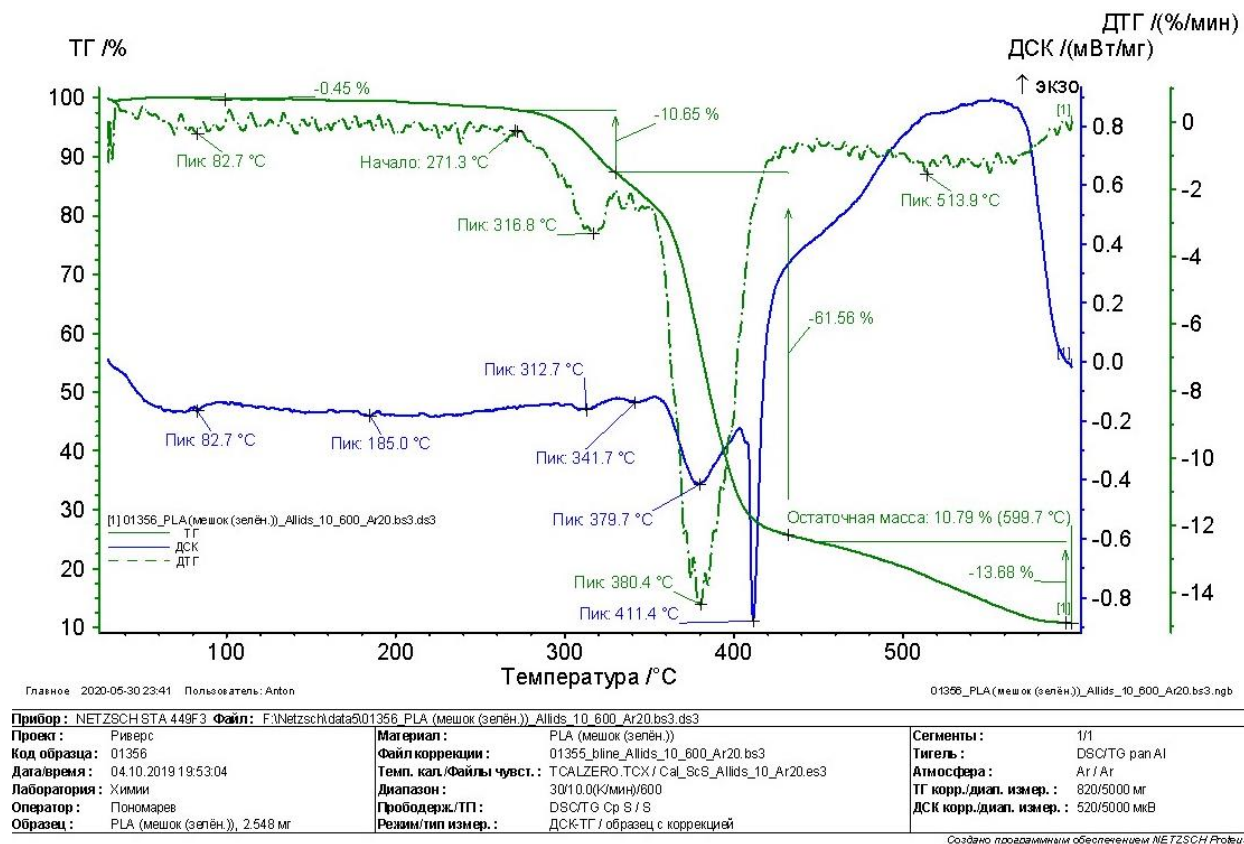


Рис. 2. Кривые синхронного термического анализа образца PLA №3

Fig. 2. Curves of simultaneous thermal analysis of sample PLA No. 3

На ДСК-кривой отмечено несколько эндотермических пиков. Пик при температуре 82,7°C характеризует удаление из образца легколетучих компонентов, к которым могут относиться вода, растворители и ряд других веществ. Данная кривая имеет один пик плавления при 185,0°C. Остальные указанные пики соответствуют стадиям разложения органических компонентов, входящих в состав полилактидных материалов.

На ДТГ-кривой выделено четыре пика разложения (пики при 82,7; 316,8; 380,4 и 513,9°C). Пик с вершиной при температуре 82,7°C характеризует удаление из образца легколетучих компонентов (соответствующая потеря массы, установленная по термогравиметрической кривой (ТГ-кривой), составляет 0,45%). При 271,3°C начинается процесс разложения полилактида (ПЛА), который протекает в две стадии (пики при 316,8 и 380,4°C) с общей потерей массы 72,21%. При 513,9°C разлагается более термостойкий компонент материала с общей потерей массы 13,68%. Указанные потери массы для каждого из компонентов приблизительно соответствуют их долям (масс.) в составе материала.

По ТГ-кривой определено, что остаточная масса при температуре 599,7°C равна 10,79%. Ее образуют углерод и неорганические компоненты, которые, например, могут входить в состав наполнителя.

Заключение

По результатам исследований физико-механических свойств синтетических и биоразлагаемых полимеров можно сделать вывод о том, что представленные образцы PLA легко разлагаются под действием воды, обладают достаточной эластичностью и стойкостью к проколу.

Методом термогравиметрической и дифференциально-сканирующей колориметрии (ТГ и ДСК) установлены температурно-временные параметры переработки полилактида по расплавному методу. А также идентифицировано наличие неорганического компонента в составе исследуемых образцов биополимера, что может указывать на наличие в них связующих и модифицирующих добавок.

Синтетические полимерные материалы по исследуемым физико-механическим характеристикам превосходят биоразлагаемые полимерные материалы, однако в отличие от биополимеров практически не утилизируются в природе естественным путем.

Биоразлагаемые полимерные материалы

можно широко применять в упаковочном производстве, медицине и других отраслях народного хозяйства [5, 10, 13]. Для улучшения эксплуатационных свойств готовой продукции, рекомендуется использовать специальные модифицирующие (упрочняющие и гидрофобизирующие) добавки [14, 15].

Список литературы

1. Ершова О.В., Багреева К.В. Исследование физико-механических свойств биоразлагаемых и синтетических полимеров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 79-й Международной научно-технической конференции. 2021. Т.2. 603 с.
2. Биоразлагаемые полимеры. Современное состояние и перспективы использования / Вальданов Ф.Ш., Латыпова Ф.Н., Красуцкий П.А., Чанышев Р.Р. // Промышленные биотехнологии. Москва, 2014. 52 с.
3. Ивановский С.К., Бахаева А.Н. Экологические аспекты проблемы утилизации отходов полимерной упаковки и техногенных минеральных ресурсов // Успехи современного естествознания. 2015. № 1–5. С. 813–817.
4. Adamcová Dana, Vavrková Magdalena, Toman František: Repeated research of biodegradability of plastics materials in real composting conditions. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 2013, LXI, № 6, pp.1557–1564.
5. Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов / Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Ершова О.В. // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 250.
6. Annemette Kjeldsen, Marcus Price, Charlotte Lilley, Ewa Guzniczak, Ian Archer. A Review of Standards for Biodegradable Plastics // industrial Biotechnology Innovation Centre, 2017, pp. 33.
7. Dr. Rolf-Joachim Miller. Biodegradability of Polymers: Regulations and Methods for Testing. Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, 2016, pp. 388.
8. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала / Ершова О.В., Муллина Э.Р., Чупрова Л.В., Мишурина О.А., Бодьян Л.А. // Фундаментальные исследования. 2014. № 12–3. С. 487–491.
9. Биодegradируемые пленочные материалы на основе синтетических и микробиологически синтезированных полимеров / Закирова А.Ш., Канарская З.А., Михайлова О.С., Василенко С.В. // Промышленные биотехнологии. Казань, 2013. 61 с.
10. Коляда Л.Г., Медяник Н.Л., Ефимов Ю.Ю. Синтез и исследование наночастиц серебра и возможность их использования в пищевой упаковке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №2 (50). С. 65–69.

11. Yershova O.V., Chuprova L.V., Mullina E.R., Mishurina O.A., Permyakov M.B. The solution of environmental problems during plastic package recycling // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 24. Pp. 44896–44899.
12. Мухаметдинова А.А. Определение деструкции био-разлагаемых полимеров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 78-й международной научно-технической конференции. 2020. С. 30.
13. Ершова О.В. Деструкция полимерных пленок, модифицированных оксибиоразлагаемой добавкой d2W // Успехи современного естествознания. 2016. № 11–2. С. 221–225.
14. Ершова О.В., Чупрова Л.В. Решение проблемы утилизации отходов полимерных материалов // Фундаментальные исследования. 2016. № 11–2. С. 271–275.
15. Magdalena Vavercová, Jana Kotovicová, Dana Adamcová. Testing the biodegradability and biodegradation rates of degradable/biodegradable plastics within simulated environment // Polska Akademia Nauk. Oddział w Krakowie. 2011, pp. 93–101.
- zovaniya [Modern Problems of Science and Education], 2014, no. 6, 250 p. (In Russ.)
6. Annemette Kjeldsen, Marcus Price, Charlotte Lilley, Ewa Guzniczak, Ian Archer. A review of standards for biodegradable plastics. Industrial Biotechnology Innovation Centre, 2017, 33 p.
7. Dr. Rolf-Joachim Miller. Biodegradability of polymers: regulations and methods for testing. Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, 2016, 388 p.
8. Ershova O.V., Mullina E.R., Chuprova L.V., Mishurina O.A., Bodyan L.A. Studying the effect of the composition of an inorganic filler on the physical and chemical properties of a polymer composite material. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research], 2014, no. 12–3, pp. 487–491. (In Russ.)
9. Zakirova A.Sh., Kanarskaya Z.A., Mikhailova O.S., Vasilenko S.V. Biodegradable film materials based on synthetic and microbiologically synthesized polymers. Industrial Biotechnologies, Kazan, 2013, 61 p.
10. Kolyada L.G., Medyanik N.L., Efimov Yu. Yu. Synthesis and research on silver nanoparticles and their possible application in food packaging. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2015, no. 2 (50), pp. 65–69. (In Russ.)
11. Yershova O.V., Chuprova L.V., Mullina E.R., Mishurina O.A., Permyakov M.B. The solution of environmental problems during plastic package recycling. International Journal of Applied Engineering Research, 2015, vol. 10, no. 24, pp. 44896–44899.
12. Mukhametdinova A.A. Determination of destruction of biodegradable polymers. *Aktualnye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniya: tezisy докладов 78-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Current problems of modern science, technology and education: abstracts of the 78th International Scientific and Technical Conference], 2020, p. 30. (In Russ.)
13. Ershova O.V., Mishurina O.A. Destruction of polymer films modified with oxy biodegradable additive d2W. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2016, no. 11–2, pp. 221–225. (In Russ.)
14. Ershova O.V., Chuprova L.V. Solving the problem of polymer material waste disposal. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research], 2016, no. 11–2, p. 271–275. (In Russ.)
15. Magdalena Vavercová, Jana Kotovicová, Dana Adamcová. Testing the biodegradability and biodegradation rates of degradable/biodegradable plastics within simulated environment. Polska Akademia Nauk. Branch in Krakow. 2011, pp. 93–101.

References

1. Ershova O.V., Bagreeva K.V. Study on physical and mechanical properties of biodegradable and synthetic polymers. *Aktualnye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniya: tezisy докладов 79-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Current problems of modern science, technology and education: abstracts of the 79th International Scientific and Technical Conference], 2021, vol. 2, 603 p. (In Russ.)
2. Vildanov F.Sh., Latypova F.N., Krasutsky P.A., Chanyshev R.R. Biodegradable polymers: Current state and prospects of use. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2012, vol. 19, no. 1, pp. 135–139. (In Russ.)
3. Ivanovsky S.K., Bakhaeva A.N. Ecological aspects of the problem of recycling polymer packaging waste and man-made mineral resources. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2015, no. 1–5, pp. 813–817. (In Russ.)
4. Adamcová Dana, Vavercová Magdalena, Toman František: Repeated research of biodegradability of plastics materials in real composting conditions. *Journal of the University of Agriculture and Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2013, LXI, no. 6, pp.1557–1564.
5. Mullina E.R., Mishurina O.A., Chuprova L.V., Ershova O.V. Influence of the chemical nature of sizing components on hydrophilic and hydrophobic properties of cellulose materials. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014, no. 6, 250 p. (In Russ.)
6. Annemette Kjeldsen, Marcus Price, Charlotte Lilley, Ewa Guzniczak, Ian Archer. A review of standards for biodegradable plastics. Industrial Biotechnology Innovation Centre, 2017, 33 p.
7. Dr. Rolf-Joachim Miller. Biodegradability of polymers: regulations and methods for testing. Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, 2016, 388 p.
8. Ershova O.V., Mullina E.R., Chuprova L.V., Mishurina O.A., Bodyan L.A. Studying the effect of the composition of an inorganic filler on the physical and chemical properties of a polymer composite material. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research], 2014, no. 12–3, pp. 487–491. (In Russ.)
9. Zakirova A.Sh., Kanarskaya Z.A., Mikhailova O.S., Vasilenko S.V. Biodegradable film materials based on synthetic and microbiologically synthesized polymers. Industrial Biotechnologies, Kazan, 2013, 61 p.
10. Kolyada L.G., Medyanik N.L., Efimov Yu. Yu. Synthesis and research on silver nanoparticles and their possible application in food packaging. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2015, no. 2 (50), pp. 65–69. (In Russ.)
11. Yershova O.V., Chuprova L.V., Mullina E.R., Mishurina O.A., Permyakov M.B. The solution of environmental problems during plastic package recycling. International Journal of Applied Engineering Research, 2015, vol. 10, no. 24, pp. 44896–44899.
12. Mukhametdinova A.A. Determination of destruction of biodegradable polymers. *Aktualnye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniya: tezisy докладов 78-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Current problems of modern science, technology and education: abstracts of the 78th International Scientific and Technical Conference], 2020, p. 30. (In Russ.)
13. Ershova O.V., Mishurina O.A. Destruction of polymer films modified with oxy biodegradable additive d2W. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2016, no. 11–2, pp. 221–225. (In Russ.)
14. Ershova O.V., Chuprova L.V. Solving the problem of polymer material waste disposal. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research], 2016, no. 11–2, p. 271–275. (In Russ.)
15. Magdalena Vavercová, Jana Kotovicová, Dana Adamcová. Testing the biodegradability and biodegradation rates of degradable/biodegradable plastics within simulated environment. Polska Akademia Nauk. Branch in Krakow. 2011, pp. 93–101.

Поступила 25.11.2021; принята к публикации 09.12.2021; опубликована 24.12.2021
Submitted 25/11/2021; revised 09/12/2021; published 24/12/2021

Ершова Ольга Викторовна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: yershova_mgtu@mail.ru

Медяник Надежда Леонидовна – доктор технических наук, профессор,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: medyanikmagnitka@mail.ru. ORCID 0000-0003-0973-8899

Мишурина Ольга Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры химии,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: olegro74@mail.ru. ORCID 0000-0003-3412-8902

Бессонова Юлия Александровна – кандидат экономических наук, доцент кафедры химии,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: chem@magtu.ru. ORCID 0000-0001-8027-3567

Багреева Ксения Викторовна – студентка гр.ТТПб-19,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: ksushabagreeva@gmail.com

Olga V. Ershova – PhD (Pedagogy), Associate Professor, Chemistry Department,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: yershova_mgtu@mail.ru

Nadezhda L. Medyanik – DrSc (Eng.), Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: medyanikmagnitka@mail.ru. ORCID 0000-0003-0973-8899

Olga A. Mishurina – PhD (Eng.), Associate Professor, Chemistry Department,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: olegro74@mail.ru. ORCID 0000-0003-3412-8902

Yuliya A. Bessonova – PhD (Economics), Associate Professor, Chemistry Department,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: chem@magtu.ru. ORCID 0000-0001-8027-3567

Ksenia V. Bagreeva – student of group TTPb-19,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: ksushabagreeva@gmail.com