

**ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА
С ПОЛУЧЕНИЕМ АМИДА ТЕРЕФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ**

Р.Л. Веснин, А.А. Алалыкин, М.А. Вохмянин

Роман Леонидович Веснин, Михаил Александрович Вохмянин*

Кафедра Химии и технологии переработки полимеров, Вятский государственный университет, ул. Московская, 36, Киров, Российская Федерация, 610000

E-mail: vesninroman@mail.ru, Vmisha7@gmail.com*

Александр Алексеевич Алалыкин

Научно-образовательный центр «Нанотехнологии», Институт Биологии и биотехнологии, Вятский государственный университет, ул. Московская, 39, Киров, Российская Федерация, 610000

E-mail: al-wood@list.ru

Целью данного исследования является проведение и изучение процесса химического рециклинга твердых бытовых отходов полиэтилентерефталата (ПЭТ) смесью аминоспиртов (моноэтанолamina и триэтанолamina) в относительно мягких условиях и без применения катализаторов. Выявлено, что во время реакции ПЭТ со смесью аминоспиртов образуется низкомолекулярный продукт белого цвета, содержащий в своем строении ароматическое ядро, две амидные и две гидроксильные группы - N, N'-бис (2-гидроксиэтил) терефталамид. Наиболее эффективная очистка и выделение целевого низкомолекулярного соединения из реакционных смесей достигается перекристаллизацией из воды. Изучена структура полученного соединения с использованием ИК-Фурье спектроскопии, газовой хромато-масс спектроскопии и дифференциально сканирующей калориметрии, а также некоторые физико-химические свойства полученного соединения (растворимость, температура плавления). Предложена технологическая схема получения данного низкомолекулярного вещества в относительно больших объемах периодическим способом с регенерацией исходных аминоспиртов для их повторного использования. Процесс осуществляется в обогреваемом реакторе периодического действия, в который поступают дробленые отходы ПЭТ, а также смесь аминоспиртов. Реакционная масса выдерживается при температуре 160 °С и периодическом перемешивании в течение 3-4 ч. После завершения реакции и охлаждения смесь подается в аппарат-кристаллизатор для дальнейшего выделения целевого продукта путем кристаллизации из воды. Кроме этого, на основании имеющихся экспериментальных данных и теоретических предположений, рассмотрена принципиальная возможность использования полученного низкомолекулярного соединения в качестве мономера в реакции поликонденсации для получения полиамидоэфиров, аналогично принципам получения полиэтилентерефталата из дигликольтерефталата. Показано, что продукт деструкции вступает в реакцию поликонденсации с образованием олигомерного продукта - вязкой смолообразной массы, имеющей цвет от желтого до карамельного.

Ключевые слова: полиэтилентерефталат, деструкция, поликонденсация, амид терефталевой кислоты, аминоспирты, рециклинг

POLYETHYLENE TEREPHTHALATE WASTE RECYCLING TECHNOLOGY TO PRODUCE TEREPHTHALIC ACID AMIDE

R.L. Vesnin, A.A. Alalykin M.A., Vokhmyanin

Roman L. Vesnin, Mikhail A. Vokhmyanin*

Department of Chemistry and Polymer Processing Technology, Vyatka State University, Moskovskaya st., 36, Kirov, 610000, Russia

E-mail: vesninroman@mail.ru, Vmisha7@gmail.com*

Alexander A. Alalykin

Nanotechnology Research and Education Center, Institute of Biology and Biotechnology, Vyatka State University, Moskovskaya st., 39, Kirov, 610000, Russia

E-mail: al-wood@list.ru

The purpose of this study is to conduct and study the process of chemical recycling of solid household waste of polyethylene terephthalate (PET) with a mixture of amino alcohols (monoethanolamine and triethanolamine) under relatively mild conditions and without the use of catalysts. It was revealed that during the reaction of PET with a mixture of amino alcohols of a low molecular weight white product is formed, containing in its structure an aromatic core, two amide and two hydroxyl groups - N, N'-bis (2-hydroxyethyl) terephthalamide. The most effective purification and isolation of the target low molecular weight compound from the reaction mixtures is achieved by recrystallization from water. The structure of the obtained compound was studied using IR Fourier spectrometry, gas chromatography-mass spectrometry and differential scanning calorimetry, as well as some physicochemical properties of the obtained compound (solubility, melting point). A technological scheme for obtaining this low molecular weight substance in relatively large volumes by a periodic method with the regeneration of the initial amino alcohols for their reuse is proposed. The process is carried out in a heated batch reactor, which receives crushed PET waste, as well as a mixture of amino alcohols. The reaction mass is maintained at a temperature of 160 °C and periodic stirring for 3-4 h. After completion of the reaction and cooling the mixture is fed into the apparatus-crystallizer for further selection of the target product by crystallization from water. In addition, on the basis of the available experimental data and theoretical assumptions, the possibility in principle of using the obtained low-molecular compound as a monomer in the polycondensation reaction to obtain polyamidoesters is considered, similar to the principles of obtaining polyethylene terephthalate from diglycolterephthalate. It was shown that the depolymerization product enters into a polycondensation reaction with the formation of an oligomeric product - a viscous, resinous mass having a color from yellow to caramel.

Key words: polyethylene terephthalate, depolymerization, polycondensation, terephthalic acid amide, amino alcohols, recycling

Для цитирования:

Веснин Р.Л., Алалыкин А.А., Вохмянин М.А. Технология утилизации отходов полиэтилентерефталата с получением амида терефталевой кислоты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 2. С. 99–104

For citation:

Vesnin R.L., Alalykin A.A., Vokhmyanin M.A. Polyethylene terephthalate waste recycling technology to produce terephthalic acid amide. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 2. P. 99–104

ВВЕДЕНИЕ

Решения глобальных проблем окружающей среды направлены на развитие технологий переработки отходов пластмасс, а именно, исследование деструкции полиэтилентерефталата, как одного из направлений рециклинга самых распро-

страненных твердых бытовых отходов – полиэтилентерефталата (ПЭТ) [1-4].

Главная задача утилизации – связать постоянно растущий объем отходов с потребностями потребителей продуктов, получаемых из этих же отходов. Использование процесса деструкции принципиально изменяет ситуацию – отходы становятся сырьем для производства, порождающего эти

отходы. Наиболее распространен процесс расщепления ПЭТ, сопровождающийся реакцией гидролиза, в результате которого образуются его исходные мономеры – терефталевая кислота (ТФК) и моноэтиленгликоль (МЭГ). Данный метод не нашел широкого распространения из-за больших энерго- и трудозатрат на очистку получаемых мономеров, а также из-за необходимости регенерации некоторых компонентов реакции [4-8].

Наиболее интересное направление химической переработки отходов ПЭТ является деструкция при взаимодействии с аминоспиртами [9], приводящее к получению амидов терефталевой кислоты.

Продуктом деструкции ПЭТ с аминоспиртами является бис-(2-гидроксиэтил) терефталамид [10]. Недостатком данного метода деструкции является необходимость применения микроволновой установки и катализаторов [10], которые в дальнейшем требуется регенерировать, либо утилизировать, что вызывает дополнительные энергетические затраты.

Целью настоящей работы являлось осуществление деструкции ПЭТ под действием смеси аминоспиртов для получения бис-(2-гидроксиэтил)терефталамида (БГЭТФА) в одну стадию без применения катализаторов, а также исследование некоторых свойств полученных продуктов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Реакция деструкции ПЭТ проводилась под действием аминоспиртов – моноэтаноламин (МЭА) и триэтаноламин (ТЭА), взятых в оптимальных соотношениях. Температура реакции деструкции 160 °С, время 3-4 ч. Исходным материалом являлись отходы ПЭТ в виде отработанной пластиковой тары, измельченной до размера частиц 5×5 мм, при этом степень превращения ПЭТ достигает 90%. В ходе реакции (рис. 1) образуется N,N'-бис(2-гидроксиэтил)терефталамид (БГЭТФА).

По завершении деструкции ПЭТ реакционная масса имеет пастообразную консистенцию, представляющую собой смесь продукта реакции с непрореагировавшими аминоспиртами.

После отстаивания реакционной массы при комнатной температуре в течение 24 ч происходила кристаллизация и выпадение в осадок продуктов реакции, а смесь аминоспиртов образовывала верхний слой жидкости, который в дальнейшем сливался в отдельную емкость и регенерировался.

Окончательное выделение наиболее чистых кристаллов осуществлялось за счет перекристаллизации реакционной массы. В качестве рас-

творителя использовалась вода. Для получения чистых кристаллов требовалась 2-х кратная перекристаллизация.

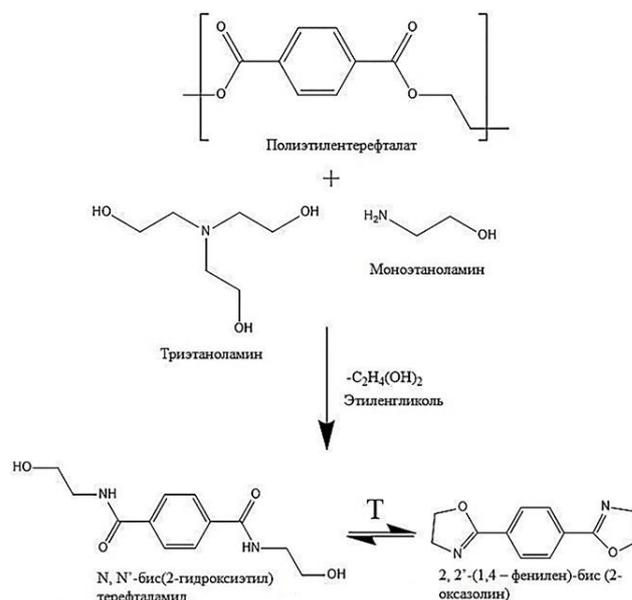


Рис. 1. Схема аминолитической деструкции ПЭТ
Fig. 1. Scheme of aminolytic depolymerization of PET

БГЭТА растворяется в диметилформамиде (ДМФА) и диметилсульфоксиде (ДМСО) при комнатной температуре и растворим при повышенной температуре (80-90 °С) в воде. Температура плавления кристаллов 226 °С.

Идентификация полученного продукта деструкции проводилась с помощью инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованиями Shimadzu FTIR-8400S (рис. 2), а также газовой хромато-масс спектроскопии на приборе Shimadzu GCMS-2010 QP Plus, обработка данных осуществлялась при сравнении полученных масс-спектров с имеющимися спектрами библиотеки NIST05.

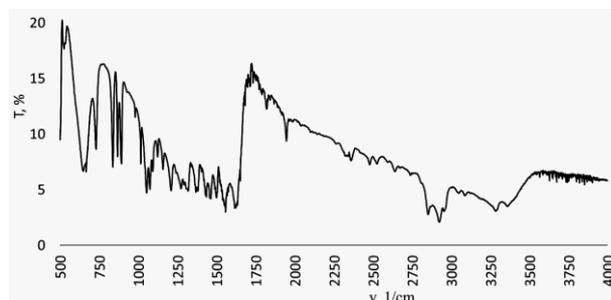


Рис. 2. ИК спектр полученного продукта деструкции
Fig. 2. IR spectrum of the obtained product of depolymerization

Сравнивая ИК спектр полученного продукта со спектром из статьи [11], можно с большой долей вероятности сказать об их взаимном соответ-

ствии, что указывает на достоверность определения структуры вещества.

При проведении газовой хромато-масс спектрометрии самый большой пик указывает на наличие в пробе 2,2'-(1,4-фенилен)-бис(2-оксазолина). Анализ проводился при 550 °С, что и приводит к быстрому отщеплению воды с замыканием оксазолинового цикла 2,2'-(1,4-фенилен)-бис(2-оксазолин) (рис 1).

Сравнивая полученные данные газовой хромато-масс-спектрометрии с данными в статье [10], можно сказать, что полученные в том и другом случае вещества одинаковы, разница заключается в отсутствии катализатора деструкции без снижения эффективности реакции.

Для определения теплофизических свойств N,N'-бис(2-гидроксиэтил) терефталамида проводился дифференциальный термический анализ (ДТА). На кривой ДТА (рис. 3) присутствуют два эндотермических пика при 194,77 °С и 229,49 °С, что можно отнести к разрушению водородных связей и сильных диполь-дипольных взаимодействий, которые приводят к плавлению амида [12]. Анализ ДТА проводился на оборудовании Shimadzu DSC-60 и Shimadzu DTG-60. Скорость нагрева 10 °С/мин.

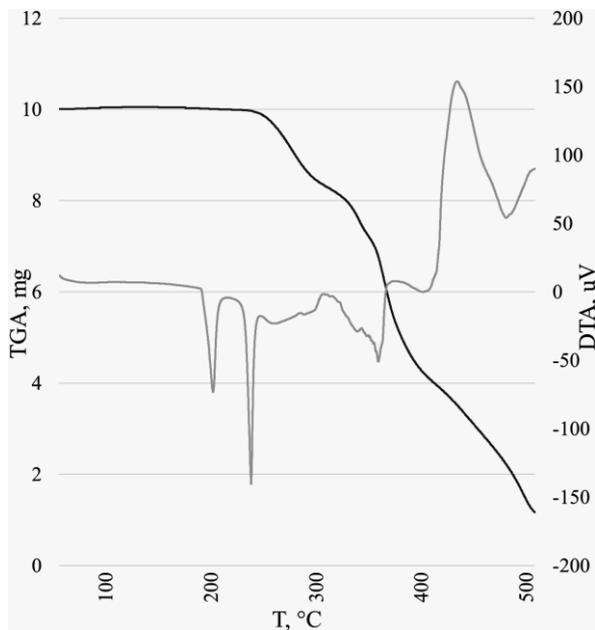


Рис. 3. Данные термоанализа
Fig. 3. Thermoanalysis data

На основании изученного процесса аминолитической деструкции ПЭТ в лабораторных условиях и продукта реакции, данный процесс можно реализовать в производственных масштабах (рис. 4).

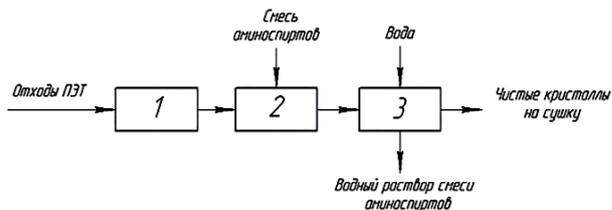


Рис. 4. Блок-схема получения БГЭТФА из отработанных пластиковых отходов ПЭТ (1 – дробилка, 2 – обогреваемый реактор периодического действия, 3 – кристаллизатор)
Fig. 4. Schematic diagram of the production of BHETFA from waste plastic waste PET (1 - crusher, 2 - heated batch reactor, 3 - crystallizer)

Технологический процесс получения БГЭТФА начинается с поступления на производство отходов ПЭТ. Отработанные пластиковые отходы, отмытые от загрязнений и без этикеток, поступают в дробилку (поз. 1 рис. 4), где измельчаются до размеров частиц 5×5 мм. Далее дробленые отходы ПЭТ поступают в обогреваемый реактор периодического действия (поз. 2 рис. 4) и одновременно туда же подается смесь аминоспиртов (моноэтаноламин и триэтаноламин в соотношении 1:6 соответственно). В реакторе смесь аминоспиртов и дробленых отходов ПЭТ (реакционная смесь) нагревается до температуры 160 °С и выдерживается в течение 3-4 ч, периодически перемешивается внутренней лопастной мешалкой реактора – протекание реакции аминолита. По истечении заданного времени, реакционная масса выливается в кристаллизатор с удалением части жидкой фазы (поз. 3 рис. 4), куда затем подается холодная вода для перекристаллизации получаемого продукта (БГЭТФА) и отмывки его от смеси аминоспиртов. Маточный раствор аминоспиртов сливается из кристаллизатора и направляется на регенерацию компонентов, которые в дальнейшем могут быть повторно использованы в реакторе (поз. 2 рис. 4).

Данная схема позволяет реализовать получение БГЭТФА с минимальным количеством отходов и большим выходом целевого продукта. Кроме того, изученный метод более экономичен по сравнению с методами разложения ПЭТ на составные компоненты – диметилфталат и этиленгликоль с их последующим использованием для повторного синтеза ПЭТ [13-16].

Одним из направлений использования, представляющим наибольший интерес, является получение новых олиго- или полимерных продуктов, где в качестве мономера выступает БГЭТФА, имеющий достаточно высокую степень очистки. Химическая структура продукта аминолита ПЭТ частично схожа с мономером, используемым для по-

лучения самого полиэтилентерефталата – диглицольтерефталат [16-18]. Данная двухстадийная схема получения ПЭТ устарела, но некоторые основные принципы и технологические параметры могут быть использованы для проведения поликонденсации БГЭТФА.

В результате реакции поликонденсации образовывался продукт светло-желтого цвета, тянувшийся при выливании из колбы расплава. Полученная смола после охлаждения проявляет хрупкость и липкость к разным поверхностям (металл, стекло, древесина, керамика). В перспективе применение получаемых продуктов на основе БГЭТФА возможно в качестве пластификаторов [19], УФ-отверждаемых промоторов адгезии [20], хелатных агентов [21], полиуретанов [22], противогрибковых добавок.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Van der Vegt A.K.** From Polymers to Plastics. *VSSD*. 2005. 279 p.
2. **George N., Kurian T.** Recent developments in the chemical recycling of postconsumer poly (ethylene terephthalate) Waste. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2014. V. 53. N 37. P. 14185–14198. DOI: 10.1021/ie501995m.
3. **Зелке С., Кутлер Д., Хернандес Р.** Пластиковая упаковка. СПб.: Профессия. 2011. 560 с.
4. **Джайлз Д., Брукс Д., Сабсай О.** Производство упаковки из ПЭТ. М.: Профессия. 2006. 368 с.
5. **Soni R.K., Singh S.** Synthesis and characterization of terephthalamides from poly (ethylene terephthalate) waste. *J. Appl. Polym. Sci.* 2005. V. 96. N 5. P. 1515-1528. DOI: 10.1002/app.21502.
6. **Shamsi R., Abdouss M., Sadeghi G.M.M., Taromi F.A.** Synthesis and characterization of novel polyurethanes based on aminolysis of poly (ethylene terephthalate) wastes, and evaluation of their thermal and mechanical properties. *Polym. Int.* 2009. V. 58. N 1. P. 22-30. DOI: 10.1002/pi.2488.
7. **Tarannum N., Agrawal R., Soni R.K.** Synthesis and molecular docking of terephthalic dihydrazide from poly (ethylene terephthalate) for antimicrobial activity and biochemical changes. *Der Pharma Chemica.* 2016.V. 8. N 1. P. 137-145.
8. **Митрофанов Р.Ю., Чистякова Ю.С., Севодин В.П.** Переработка отходов полиэтилентерефталата. *Тв. быт. отходы.* 2006. N 6. С. 12–13.
9. **Rikhil V.S., Sanjeev R.S.** Effective Aminolytic Depolymerization of Poly (ethylene terephthalate) Waste and Synthesis of Bisoxazoline Therefrom. *J. Appl. Polym. Sci.* 2012. V. 125. N 5. P. 3666-3675. DOI: 10.1002/app.36649.
10. **Yogesh S.P., Rikhil V.S., Sanjeev R.S.** Microwave irradiated synthesis and characterization of 1, 4-phenylene bis-oxazoline form bis-(2-hydroxyethyl) terephthalamide obtained by depolymerization of poly (ethylene terephthalate) (PET) bottle wastes. *Curr. Chem. Lett.* 2012. N 1. P. 81-90. DOI: 10.5267/j.ccl.2012.3.003.
11. **Huang Ch., Xu S., Zhaoz J., Jiang S., Yang W.** Synthesis of polyesteramides from N, N'-bis(2-hydroxyethyl)-terephthalamide and chain extension reaction. *Acta Polym. Sinica.* 2010. N 2. P. 237-244. DOI: 10.3724/SP.J.1105.2010.00237.

ВЫВОДЫ

Химический рециклинг полиэтилентерефталата, с получением достаточно чистого N,N'-бис(2-гидроксиэтил)терефталамида, можно успешно проводить без применения катализатора и в относительно мягких условиях. Выход целевого продукта зависит от оптимальных соотношений реагентов, температуры и времени проведения реакции. Кроме этого, получение БГЭТФА можно осуществить практически полностью безотходным способом с регенерацией исходных компонентов.

Полученный низкомолекулярный продукт БГЭТФА может выступать в качестве мономера в реакции поликонденсации с получением олигомерных, либо полимерных продуктов, используемых в различных отраслях.

REFERENCES

1. **Van der Vegt A.K.** From Polymers to Plastics. *VSSD*. 2005. 279 p.
2. **George N., Kurian T.** Recent developments in the chemical recycling of postconsumer poly (ethylene terephthalate) Waste. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2014. V. 53. N 37. P. 14185–14198. DOI: 10.1021/ie501995m.
3. **Zelke S., Kutler D., Hernandez R.** Plastic Packaging. SPb.: Profesiya. 2011. 560 p. (in Russian).
4. **Giles D., Brooks D., Sabsay O.** Production of PET packaging. SPb.: Profesiya. 2006. 368 p. (in Russian).
5. **Soni R.K., Singh S.** Synthesis and characterization of terephthalamides from poly (ethylene terephthalate) waste. *J. Appl. Polym. Sci.* 2005. V. 96. N 5. P. 1515-1528. DOI: 10.1002/app.21502.
6. **Shamsi R., Abdouss M., Sadeghi G.M.M., Taromi F.A.** Synthesis and characterization of novel polyurethanes based on aminolysis of poly (ethylene terephthalate) wastes, and evaluation of their thermal and mechanical properties. *Polym. Int.* 2009. V. 58. N 1. P. 22-30. DOI: 10.1002/pi.2488.
7. **Tarannum N., Agrawal R., Soni R.K.** Synthesis and molecular docking of terephthalic dihydrazide from poly (ethylene terephthalate) for antimicrobial activity and biochemical changes. *Der Pharma Chemica.* 2016.V. 8. N 1. P. 137-145.
8. **Mitrofanov R.Yu., Chistyakova Yu.S., Sevodin V.P.** Recycling of polyethylene terephthalate. *Tv. Byt. Otkhody.* 2006. N 6. P. 12–13 (in Russian).
9. **Rikhil V.S., Sanjeev R.S.** Effective Aminolytic Depolymerization of Poly (ethylene terephthalate) Waste and Synthesis of Bisoxazoline Therefrom. *J. Appl. Polym. Sci.* 2012. V. 125. N 5. P. 3666-3675. DOI: 10.1002/app.36649.
10. **Yogesh S.P., Rikhil V.S., Sanjeev R.S.** Microwave irradiated synthesis and characterization of 1, 4-phenylene bis-oxazoline form bis-(2-hydroxyethyl) terephthalamide obtained by depolymerization of poly (ethylene terephthalate) (PET) bottle wastes. *Curr. Chem. Lett.* 2012. N 1. P. 81-90. DOI: 10.5267/j.ccl.2012.3.003.
11. **Huang Ch., Xu S., Zhaoz J., Jiang S., Yang W.** Synthesis of polyesteramides from N, N'-bis(2-hydroxyethyl)-terephthalamide and chain extension reaction. *Acta Polym. Sinica.* 2010. N 2. P. 237-244. DOI: 10.3724/SP.J.1105.2010.00237.

12. **Teotia M., Tarannum N., Soni R.K.** Depolymerization of PET waste to potentially applicable aromatic amides: Their characterization and DFT study. *J. Appl. Polym. Sci.* 2017. V. 134. N 31. P. 45153. DOI: 10.1002/app.45153.
13. **Kim Y., Kim D.H.** Pretreatment of low-grade poly (ethylene terephthalate) waste for effective depolymerization to monomers. *Korean J. Chem. Eng.* 2018. V. 35. N 11. P. 2303-2312. DOI: 10.1007/s11814-018-0130-9.
14. **Castro A.M., Carniel A., Sirelli L., Dias M.L., Menezes S.M.C., Chinelatto L.S., Honorato H.D.** Enzyme-catalyzed simultaneous hydrolysis-glycolysis reactions reveals tunability on PET depolymerization products. *Biochem. Eng. J.* 2018. V. 137. P. 239-246. DOI: 10.1016/j.bej.2018.06.007.
15. **Керницкий В.И., Микитаев А.К.** Краткие основы производства и переработки полиэтилентерефталата (ПЭТ). М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2012. 208 с.
16. **Беданок А.Ю., Бештоев Б.З., Микитаев М.А., Микитаев А.К., Сазонов В.В.** Полиэтилентерефталат: новые направления рециклинга. *Пласт. массы.* 2009. Вып. 6. С. 18–21.
17. **Li W., Gu X., Wang J., Feng L.** Modeling of an industrial polycondensation process for polyethylene terephthalate. *Petrochem. Technol.* 2011. V. 40. N 10. P. 1094-1099.
18. **Петухов Б.В.** Полиэфирные волокна. М.: Химия. 1976. 102 с.
19. **Soni R.K., Dutt K., Jain A., Soam S., Singh S.** A novel route of synthesis, characterization of terephthalic dihydrazide from polyethylene terephthalate waste and its application in PVC compounding as plasticizer. *J. Appl. Polym. Sci.* 2009. N 113. P. 1090-1096. DOI: 10.1002/app.29842.
20. **Soni R.K., Teotia M., Dutt K.** Studies on synthesis and characterization of a novel acrylic aromatic amide oligomer of aminolysed endproducts generated from pet waste with hydrazine monohydrate and its photocuring with acrylate monomers. *J. Appl. Polym. Sci.* 2010. N 118. P. 638-645. DOI: 10.1002/app.32377.
21. **Soni R.K., Bhardwaj M.** Synthesis and antimicrobial evaluation of novel amide synthesized from nonbiodegradable PET waste. *J. Indian Chem. Soc.* 2016. V 93. N 2. P. 229-238.
22. **Sadeghi G.M.M., Shamsi R., Sayaf M.** From Aminolysis Product of PET Waste to Novel Biodegradable Polyurethanes. *J. Polym. Environ.* 2011. V. 19. N 2. P. 522-534. DOI: 10.1007/s10924-011-0283-7.
12. **Teotia M., Tarannum N., Soni R.K.** Depolymerization of PET waste to potentially applicable aromatic amides: Their characterization and DFT study. *J. Appl. Polym. Sci.* 2017. V. 134. N 31. P. 45153. DOI: 10.1002/app.45153.
13. **Kim Y., Kim D.H.** Pretreatment of low-grade poly (ethylene terephthalate) waste for effective depolymerization to monomers. *Korean J. Chem. Eng.* 2018. V. 35. N 11. P. 2303-2312. DOI: 10.1007/s11814-018-0130-9.
14. **Castro A.M., Carniel A., Sirelli L., Dias M.L., Menezes S.M.C., Chinelatto L.S., Honorato H.D.** Enzyme-catalyzed simultaneous hydrolysis-glycolysis reactions reveals tunability on PET depolymerization products. *Biochem. Eng. J.* 2018. V. 137. P. 239-246. DOI: 10.1016/j.bej.2018.06.007.
15. **Kernitsky V.I., Mikitaev A.K.** Brief basis of production and processing of polyethylene terephthalate (PET). М.: D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia. 2012. 208 p. (in Russian).
16. **Bedanokov A.Yu., Beshtoev B.Z., Mikitaev M.A., Mikitaev A.K., Sazonov V.V.** Polyethylene terephthalate: new directions of recycling. *Plast. Massy.* 2009. V 6. P. 18-21 (in Russian).
17. **Li W., Gu X., Wang J., Feng L.** Modeling of an industrial polycondensation process for polyethylene terephthalate. *Petrochem. Technol.* 2011. V. 40. N 10. P. 1094-1099.
18. **Petuhov B.V.** Polyester fibers. М.: Khimiya. 1976. 102 p. (in Russian).
19. **Soni R.K., Dutt K., Jain A., Soam S., Singh S.** A novel route of synthesis, characterization of terephthalic dihydrazide from polyethylene terephthalate waste and its application in PVC compounding as plasticizer. *J. Appl. Polym. Sci.* 2009. N 113. P. 1090-1096. DOI: 10.1002/app.29842.
20. **Soni R.K., Teotia M., Dutt K.** Studies on synthesis and characterization of a novel acrylic aromatic amide oligomer of aminolysed endproducts generated from pet waste with hydrazine monohydrate and its photocuring with acrylate monomers. *J. Appl. Polym. Sci.* 2010. N 118. P. 638-645. DOI: 10.1002/app.32377.
21. **Soni R.K., Bhardwaj M.** Synthesis and antimicrobial evaluation of novel amide synthesized from nonbiodegradable PET waste. *J. Indian Chem. Soc.* 2016. V 93. N 2. P. 229-238.
22. **Sadeghi G.M.M., Shamsi R., Sayaf M.** From Aminolysis Product of PET Waste to Novel Biodegradable Polyurethanes. *J. Polym. Environ.* 2011. V. 19. N 2. P. 522-534. DOI: 10.1007/s10924-011-0283-7.

Поступила в редакцию 13.05.2019
Принята к опубликованию 02.12.2019

Received 13.05.2019
Accepted 02.12.2019