

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУПЕРКОЦЕНТРАТОВ (MASTER BATCH) НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ АЛКОГОЛИЗА ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

С.Ш. Эрнazarова, А.Т. Жураев, Ю.Х. Каримов, А.Б. Жураев, М.Г. Алимухамедов, Р.И. Адиллов

Самида Шамсиддиновна Эрнazarова (ORCID 0000-0003-4594-3339), Адхам Тўлаганович Жураев (ORCID 0000-0002-1558-1059), Юсуф Хошимович Каримов (ORCID 0000-0002-6728-0719), Асрор Бахтиёр ўғли Жураев (ORCID 0000-0003-3703-8646)*, Музафар Ганиевич Алимухамедов (ORCID 0000-0003-1145-8546), Равшан Иркинович Адиллов (ORCID 0000-0001-8513-7935)

Кафедра технологии высокомолекулярных соединений и пластмасс им. Т.Р. Абдурашидова, Ташкентский химико-технологический институт, ул. Навои, 32, Ташкент, Республика Узбекистан, 100011

E-mail: samida.ernazarova@gmail.com, adham_1988_88@mail.ru, karimovy84@gmali.com, asror_tcti@mail.ru*, MGA1953@mail.ru, adilov_ravshan@mail.ru

Исследованы закономерности алкоголиза вторичного полиэтилентерефталата (ВПЭТ) диэтиленгликолем (ДЭГ). Показано, что с увеличением количества диэтиленгликоля, взятого для алкоголиза от 0,1 моль до 0,4 моль на 1 моль элементарного звена ВПЭТ, наблюдается уменьшение молекулярной массы от 1480 до 707, температуры плавления от 215 до 145 °С и характеристической вязкости от 0,075 до 0,05 дл/г. Определены физико-химические свойства продуктов алкоголиза ВПЭТ (ПАПЭТ). Выявлено, что ПАПЭТ слегка окрашены, и это является нежелательным фактором, сказывающимся на индивидуальности цвета суперконцентратов на их основе. Отмывка ПАПЭТ приводит к некоторому возрастанию значений молекулярной массы и связанных с ним других показателей конечных олигомеров. Инфракрасной спектроскопией и дифференциальной сканирующей калориметрией изучена структура ПАПЭТ. Выявлено, что для получения суперконцентратов наиболее подходит ПАПЭТ, синтезированный при мольном соотношении ВПЭТ : ДЭГ 1 : 0,4, у которого температура каплепадения по Уббеллоде равна 155 °С. На основе ПАПЭТ, полученного при этих условиях, разработаны рецептуры суперконцентратов черного и белого цветов для полиэтилентерефталатных волокон. Для обеспечения равномерного диспергирования белого (TiO₂) и черного (сажа марки К-354) пигментов в состав суперконцентратов вводили полиэтиленовый воск. Суперконцентраты получали сухим способом в двухшнековом компаундере, снабженном двухручьевой головкой и гранулятором. Определены технологические свойства разработанных черных и белых суперконцентратов, которые оказались весьма близкими показателям суперконцентратов, используемых в производстве. Проведенные производственные испытания этих суперконцентратов показали, что они по эксплуатационным показателям не уступают аналогичным промышленным суперконцентратам, используемым для окрашивания нитей.

Ключевые слова: вторичный полиэтилентерефталат, диэтиленгликоль, продукт алкоголиза вторичного полиэтилентерефталата, физико-химические свойства, структура, суперконцентраты, технологические свойства производственные испытания

TECHNOLOGY FOR OBTAINING SUPERCONCENTRATES (MASTERBATCH) BASED ON ALCOHOLYSIS PRODUCTS OF SECONDARY POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

S.Sh. Ernazarova, A.T. Zhuraev, Yu.Kh. Karimov, A.B. Zhuraev, M.G. Alimukhamedov, R.I. Adilov

Samida Sh. Ernazarova (ORCID 0000-0003-4594-3339), Adham L. Zhuraev (ORCID 0000-002-1558-1059), Yusuf Kh. Karimov (ORCID 0000-002-6728-0719), Asror B. Zhuraev (ORCID 0000-0003-3703-8646)*, Muzafar G. Alimukhamedov (ORCID 0000-0003-1145-8546), Ravshan I. Adilov (ORCID 0000-001-8513-7935)

Department of Technology of High Molecular Compounds and Plastics im. T.R. Abdurashidov, Tashkent Institute of Chemical Technology, Navoi st., 32, Tashkent, 100011, Republic of Uzbekistan

E-mail: samida.ernazarova@gmail.com, adham_1988_88@mail.ru, karimovy84@gmali.com, asror_tcti@mail.ru*, MGA1953@mail.ru

Regularities of alcoholysis of secondary polyethylene terephthalate (RPET) by diethylene glycol (DEG) have been studied. It is shown that with an increase in the amount of diethylene glycol taken for alcoholysis from 0.1 mol to 0.4 mol per 1 mol of the elementary unit of HPET, a decrease in molecular weight from 1480 to 707 and the associated melting point from 215 to 145 °C are observed, and also intrinsic viscosity from 0.075 to 0.05 dl/g. The physicochemical properties of the products of alcoholysis of SPET (PAPET) have been determined. It has been revealed that PAPET is slightly colored and this is an undesirable factor affecting the individuality of the color of masterbatches based on them. Washing out with PAPET leads to some increase in the molecular weight values and related other indicators of the final oligomers. The structure of PAPET has been studied by infrared spectroscopy and differential scanning calorimetry. It has been revealed that PAPET synthesized at a molar ratio of SPET : DEG of 1:0.4, in which the dropping point according to Ubellode is 155 °C, is most suitable for obtaining superconcentrates. On the basis of PAPET obtained under these conditions, formulations of black and white masterbatches for polyethylene terephthalate fibers have been developed. To ensure uniform dispersion of white (TiO₂) and black (K-354 carbon black) pigments, polyethylene wax was added to the superconcentrates. Masterbatches have been obtained by dry method in a twin screw compounder equipped with a double strand head and a granulator. The technological properties of the developed black and white superconcentrates have been determined, which turned out to be very close to those of the superconcentrates used in production. Conducted production tests of these masterbatches have showed that they are not inferior in terms of performance to similar industrial masterbatches used for dyeing threads.

Key words: secondary polyethylene terephthalate, diethylene glycol, alcoholysis product of secondary polyethylene terephthalate, physical and chemical properties, structure, masterbatches, technological properties, production tests

Для цитирования:

Эрнazarова С.Ш., Жураев А.Т., Каримов Ю.Х., Жураев А.Б., Алимухамедов М.Г., Адиллов Р.И. Технология получения суперконцентратов (master batch) на основе продуктов алкоголиза вторичного полиэтилентерефталата. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2023. Т. 66. Вып. 4. С. 93–100. DOI: 10.6060/ivkkt.20236604.6702.

For citation:

Ernazarova S.Sh., Zhuraev A.T., Karimov Yu.Kh., Zhuraev A.B., Alimukhamedov M.G., Adilov R.I. Technology for obtaining superconcentrates (masterbatch) based on alcoholysis products of secondary polyethylene terephthalate. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 4. P. 93–100. DOI: 10.6060/ivkkt.20236604.6702.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время заслуживающим внимания направлением НИР является химическая утилизация ПЭТ содержащих отходов [1-3]. В результате алкоголиза ВПЭТ образуются гидроксилсодержащие полиэфирполиолы, которые могут применяться для получения волокнообразующих полимеров, алкидных олигомеров, полиуретанов, ненасыщенных полиэфиров [4, 5].

Для химической переработки ВПЭТ путем алкоголиза используются этиленгликоль [6, 7], диэтиленгликоль [8, 9], пропиленгликоль [10], триэтиленгликоль [11]. Процесс обычно катализируют ацетатом цинка (0,5-0,8% по массе) [12]. Известны случаи химической переработки ВПЭТ аминолизом моно-, ди- и триэтаноламином, диэтиламино [13, 14].

Модификация 2-метил-1,3-пропандиолом (МПО) приводит к повышению окрашиваемости волокон (полиэстер). Сополимер полиэтилентерефталата с МПО более эффективно поглощает краси-

тель в красильной ванне по сравнению с гомополимером. Так, сополимер, содержащий 2,7 мас. % МПО окрашивается значительно глубже и с более высокой (2 раза) интенсивностью окрашивания (K/S) [15, 16].

Следует отметить, что в литературе очень скудно освещены вопросы производства волокон, нитей из ВПЭТ методом экструзии с одновременным окрашиванием их в массе путем использования сухих суперконцентратов. При этом в стороне остаются вопросы разработки суперконцентратов для этих целей.

В этой связи целью данной работы явилась разработка суперконцентратов на основе ВПЭТ, пригодного для окрашивания волокон.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве исходного сырья использовали ВПЭТ (смешанный цвет) в виде дробленой флексы размером 3-5 мм, диэтиленгликоль (ДЭГ) по ГОСТ 10136-77), ацетат цинка по ГОСТ 5823-78 (0,8%).

В качестве пигмента – технический углерод (сажа марки К-354) – ГОСТ 7885-86/ASTM D1765, TiO₂ (TiONA® 470 – 97%, производитель TRONOX).

В качестве целевых добавок использовали: стеарин (марка Т-3) – T_{пл} – 53-65 °С, плотность – 0,92 г/см³ (20 °С), антиоксидант BIONOX® 1010 (Bioray Chemical Co., Ltd), T_{пл} – 110,0-125,0 °С, воск полиэтиленовый (ТУ ВУ 300041455.020), УФ-стабилизаторы Light form 1206001 (IPG).

Для очистки ПАПЭТ использовали: углерод четыреххлористый, циклогексанон, диметилформамид, диоксан, ацетон, дихлорэтан (ГОСТ 1942-86).

Физико-химические свойства ПАПЭТ определяли по следующим методикам. Показатель текучести расплава (ПТР) – по ГОСТ 11645-73, ISO1133 ASTM D1238 (Documentnumber CDN-17/0517, calibrationdate 20.01.2017, nextcalibrationdate 20.01.18; плотность – по ГОСТ 15139-69 пикнометрическим методом; характеристическую вязкость в смеси растворителей фенол – 1,2-дихлорэтан (требования ГОСТ 1942-86 для первого сорта), взятых в соотношении 2:3, по методике, приведенной [17, 18]; среднечисловую молекулярную массу – криоскопическим методом [19]; температуру каплепадения – по Уббеллоде. Гидроксильное, эфирное числа, число омыления определяли по методике, приведенной в [20]. ДСК анализ выполнен на приборе «Perkin Elmer, DSC4000» по ГОСТ 11645-73, ISO 11357.

Алкоголиз проводили в четырехгорлой колбе, снабженной мешалкой, термометром, капилляром для ввода инертного газа. В колбу загружали промытые и высушенные частицы (0,8-10 мм) ВПЭТ и ДЭГ (соотношение ВПЭТ:ДЭГ = 1: 0,1; 1: 0,2; 1:0,3; 1:0,4 моль эл. звено/моль). Далее нагревали до 100 °С, включали мешалку и постоянно пропускали через реакционную массу высушенный азот, затем поднимали температуру реакционной массы в течение 20-25 мин до 220±5 °С. При этой температуре реакционную массу выдерживали 6 ч. Затем обогрев отключали и охлаждали реакционную массу до комнатной температуры.

Отмывку ПАПЭТ проводили ацетоном (АЦ), взятым при соотношении ПАПЭТ:АЦ = 1:1,5 г/г. В конце дважды промывали осадок ацетоном. Далее осадок отделяли и сушили в сушильном шкафу при (50-60) °С и остаточном давлении 200 мм.рт.ст. до постоянной массы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Алкоголиз является самым распространенным методом химической утилизации ВПЭТ. Полученные продукты могут широко использоваться в производстве, в частности полиэфирных волокон и полиуретанов [21]. При этом определяющим фактором, с точки зрения агрегатного состояния конечных продуктов, является количество деструктирующего агента, взятого для алкоголиза.

Таблица 1

Физико-химические свойства синтезированных продуктов алкоголиза ВПЭТ
Table 1. Physicochemical properties of the synthesized products of SPET alcoholysis

Показатели	Соотношение ВПЭТ: ДЭГ моль эл. звено/моль							
	Неотмытые образцы ПАПЭТ				Образцы ПАПЭТ, промытые ацетоном			
	1:0,1	1:0,2	1:0,3	1:0,4	1:0,1	1:0,2	1:0,3	1:0,4
Плотность, г/см ³	1,14	1,13	1,12	1,11	1,17	1,15	1,13	1,14
Температура каплепадения по Уббеллоде, °С	-	-	170	143-145	-	-	180	155
Температура плавления, °С	-	186	170	-	-	-	-	-
Температура плавления на полимеризационной плите, °С	205-215	189	-	-	220-226	195	-	-
Характеристическая вязкость, дл/г	0,075	0,057	0,051	-	0,11	0,09	0,071	-
Молекулярная масса, г/моль, (Криоскопический метод)	-	-	-	707-735	-	-	-	1030
Молекулярная масса, г/моль, (Вискозиметрия)	1480	1071	954	-	2436	1912	1400	-
Показатель текучести расплава, г/10мин	32,40	30,20	27,40	23,00	35,40	33,80	30,5	28,2
Объемная скорость плавления, см ³ /10мин	25,15	21,64	18,07	13,81	27,5	22,4	20,60	19,90

С целью получения ПАПЭТ, пригодного для использования в качестве полимер-основы суперконцентратов, исследовали влияние соотношения ВПЭТ:ДЭГ на физико-химические свойства конечных олигомерных продуктов. Количество деструктурирующего агента варьировали в пределах ВПЭТ:ДЭГ = 1: 0,1; 1: 0,2; 1:0,3; 1:0,4 моль эл. звено/моль ДЭГ). Процесс алкоголиза проводили в присутствии катализатора ацетата цинка ($Zn(CH_3COO)_2$) в количестве 0,8% от массы ВПЭТ), при температуре 220 ± 5 °С. Продолжительности алкоголиза – 6 ч.

Полученные результаты приведены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что с увеличением количества ДЭГ, взятого для алкоголиза от 0,1 до

0,4 моль на 1 моль эл. звено ВПЭТ, происходит закономерное снижение молекулярной массы ПАПЭТ. Уменьшение молекулярной массы приводит к симбатному снижению характеристической вязкости, температуры плавления и показателя текучести расплава. В результате химической деструкции происходит аморфизация продуктов алкоголиза, что приводит к уменьшению плотности олигомеров. Отмывка продуктов алкоголиза выявленные общие закономерности не изменяет, только удаление низкомолекулярных фракций из состава продуктов алкоголиза приводит к некоторому возрастанию значений молекулярной массы и связанных с этим других показателей конечных олигомеров. Сказанное подтверждено ДСК анализом образцов ПАПЭТ, полученных при различных соотношениях ПЭТ:ДЭГ (рис. 1 а-г и табл. 2).

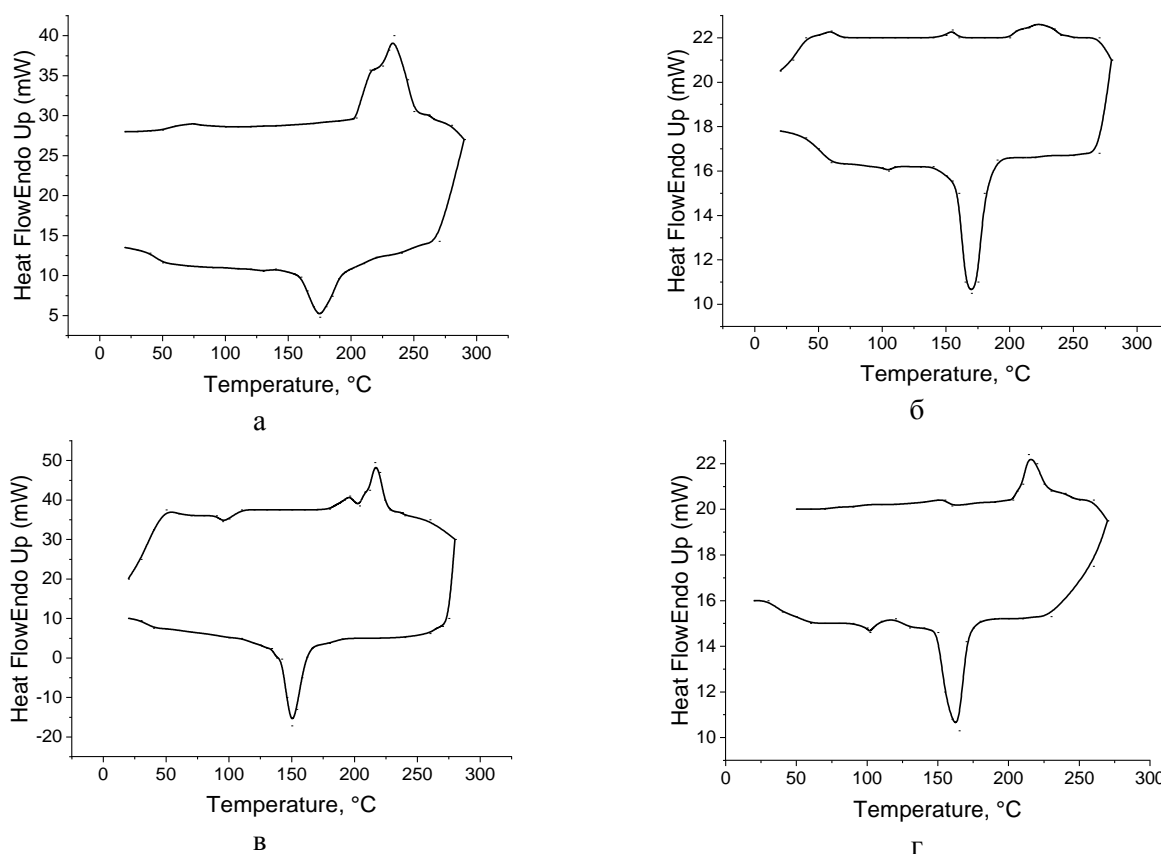


Рис. 1. ДСК кривые: ПАПЭТ (при соотношении ВПЭТ:ДЭГ, моль эл. звено/моль) – а- 1:0,1; б-1:0,2; в-1:0,3; г-1:0,4
 Fig. 1. DSC analysis: PAPET (at the ratio of SPET:DEG, mol e. unit/mol) - a- 1:0.1; b-1:0.2; v-1:0.3; g-1:0.4

Результаты ДСК анализов свидетельствуют о том, что с увеличением количества ДЭГ, взятого для алкоголиза, у конечных олигомеров происходит аморфизация структуры. В результате уменьшения молекулярной массы происходит понижение $T_{пл}$ и $T_{кр}$, а также степени кристалличности.

В результате проведенных исследований синтезированы олигомерные ПАПЭТ. Значения

температуры плавления и ПТР позволяют на их основе разработать суперконцентраты для окрашивания ПЭТ [23, 24]. В производстве Partially oriented yarn (POY) волокон на основе ПЭТ, ВПЭТ наиболее широко применяются белые и черные суперконцентраты. Поэтому мы приступили к разработке белых и черных суперконцентратов. Осно-

вой суперконцентратов явились ПАПЭТ, полученные при соотношении ВПЭТ:ДЭГ = 1,0 : (0,1-0,4), белый пигмент TiO_2 в количестве 70 мас.ч., черный пигмент сажа – 30 мас.ч. на 100 масс частей композиции. В состав суперконцентратов вводили антиоксиданты, УФ-стабилизаторы, диспергаторы и внутренние смазки. Суперконцентраты получали сухим способом в двухшнековом компаундере, снабженном двухручьевой головкой и гранулятором.

Таблица 2

Исследование методом ДСК ГОСТ 11645-73,
ISO 11357 ПАПЭТ
Table 2. DSC study GOST 11645-73, ISO 11357 on
PAPET

Продукты алкоголиза ПЭТ (соотношение ВПЭТ:ДЭГ, моль эл.звено/моль)	T _{пл} , (°C)	ΔH _{кр} , (J/g)	T _{кр} , (°C)	ΔH _{пл} , (J/g)	X _{кр} , (%)
1:0,1	175,90	44,95	234,45	63,333	13,62
1:0,2	157,64	83,3907	227,46	127,8562	32
1:0,3	150,66	94,8669	217,17	118,5225	18,19
1:0,4	163,68	85,9091	214,59	101,5225	12

Примечание: степень кристалличности ПАПЭТ вычисляли по формуле: $X_{кр} = \frac{\Delta H_n - \Delta H_k}{\Delta H_{no}} 100$, где ΔH_п – энтальпия

плавления; H_к – энтальпия кристаллизации; ΔH_{по} – энтальпия плавления ПЭТ в абсолютно кристаллическом состоянии (135 Дж/г) [22]

Note: The degree of crystallinity of PAPET was calculated by the formula $X_{кр} = \frac{\Delta H_n - \Delta H_k}{\Delta H_{no}} 100$, where ΔH_п is the enthalpy of

melting; H_с - enthalpy of crystallization; ΔH_{по} is the enthalpy of melting of PET in an absolutely crystalline state (135 J/g) [22]



а



б



в



г



д

Рис. 2. Суперконцентраты, полученные при соотношении ВПЭТ:ДЭГ, моль эл. звено/моль – а- 1:0,1; б-1:0,2; в-1:0,3; д-1:0,4 и промышленный ПЭТ суперконцентрат (г)

Fig. 2. Obtained superconcentrates at the ratio of SPET:DEG, mol el. unit/mol - а- 1: 0.1; б-1:0.2; в-1:0.3; д-1:0.4 and industrial PET masterbatch (г)

После достижения необходимой температуры по зонам экструдера включали двигатель и экструдировали композицию. Выходящие из формирующей головки стренги гранулировали. У полученных суперконцентратов определяли технологические свойства, которые приведены в табл. 3 и 4. Там же для сравнения приведены технологические свойства суперконцентратов, применяемых в производстве.

Таблица 3

Технологические свойства черного суперконцентрата, полученного на основе ПАПЭТ и первичного ПЭТ

Table 3. Technological properties of black masterbatch obtained on the basis of PAPET and virgin PET

Показатели	Суперконцентрат ПАПЭТ (ВПЭТ:ДЭГ)				Суперконцентрат (черный) ПЭТ (LunaFarm)
	1:0,1	1:0,2	1:0,3	1:0,4	
Температура плавления (Полимеризационная плита), °C	212	200	178	-	245-255
Температура каплепадения по Уббелоде, °C	-	-	-	147	-
Показатель текучести расплава, г/10мин	36,60	35,00	33,05	30,10	36, 50

Данные табл. 3 показывают, что температура плавления и показатель текучести расплава соответствуют технологическим показателям промышленного суперконцентрата черного цвета.

Визуально цвет черных суперконцентратов на основе ПАПЭТ и применяемых в промышленности не отличаются (рис. 2).

По внешнему виду и технологическим свойствам разработанные белые суперконцентраты не отличаются от применяемого в промышленности (рис. 3).

Таким образом, проведены комплексные исследования по разработке суперконцентратов на основе продуктов переработки вторичного полиэтилентерефталата. Проведена оптимизация условий проведения алкоголиза вторичного полиэтилентерефталата диэтиленгликолем. Определены структура и технологические свойства продуктов алкоголиза. На основе синтезированных продуктов алкоголиза разработаны суперконцентраты белого и черного цветов. Сравнение технологических свойств разработанных и используемых в производстве суперконцентратов показало их идентичность, что позволяет рекомендовать их к производственным испытаниям.

Таблица 4

Показатель текучести расплава белого суперконцентрата, полученного из ПАПЭТ

Table 4. Melt flow index of white super concentrate, obtained from PAPET

Показатели	Суперконцентрат ПАПЭТ ВПЭТ:ДЭГ				Суперконцентрат ПЭТ (LunaFarm White Master batch 268-WT-072)
	1:0,1	1:0,2	1:0,3	1:0,4	
Полимеризационная плита, (°С)	225	210	190		252-258
Температура каплепадения по Уббелоде, (°С)	-	-	-	175	-
Показатель текучести расплава, (г/10мин)	37,8	35,8	34,4	31,4	38,50

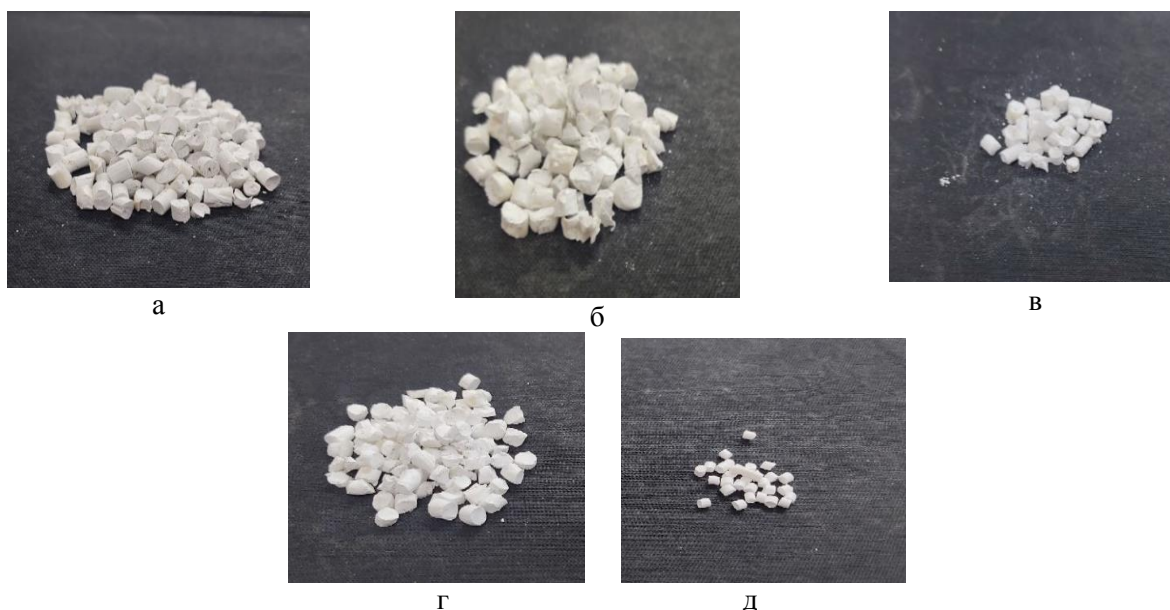


Рис. 5. Суперконцентраты белого цвета из отмытых ПАПЭТ, полученных при соотношении ВПЭТ:ДЭГ – а-(1:0,1), б-(1:0,2), в-(1:0,3), д-(1:0,4) и первичного белого ПЭТ (г)

Fig. 5. White masterbatches from washed PAPET at the ratio of SPET:DEG - а-(1:0.1), б-(1:0.2), в-(1:0.3), д-(1:0.4)) and primary white PET master batch (г)

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований нами изучено влияние химического деструктирующего агента – диэтиленгликоля на структуру и физико-химические свойства продукта алкоголиза

вторичного полиэтилентерефталата. Определено, что с увеличением количества диэтиленгликоля у продуктов алкоголиза наблюдается уменьшение температуры плавления от 215 до 145 °С, молекулярной массы от 1480 до 707, характеристической

вязкости от 0,075 до 0,05 дл/г. С помощью ДСК исследовали структуру синтезированных ПАПЭТ. Выявлено, что для получения суперконцентратов для производства ПЭТ волокон необходимо использовать продукты алкоголиза ВПЭТ с температурой плавления выше 145 °С. Разработаны на основе продуктов алкоголиза ВПЭТ черные и белые суперконцентраты для ПЭТ волокон, которые по

технологическим свойствам не уступают промышленным. Изложенное позволяет рекомендовать разработанные суперконцентраты к опытно-производственным испытаниям.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Быков А.Н., Логинова Т.Ф., Голубева А.Н., Митюшина В.И., Бородкин В.Ф.** Исследование цветных низкомолекулярных полиэтилентерефталатов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 1967. Т. 10. Вып. 11. С. 1270-1273.
2. **Логинова Т.Ф., Митюшина В.И., Быков А.Н., Бородкин В.Ф.** Свойства цветного полиэтилентерефталата и цветного волокна лавсан. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 1966. Т. 9. Вып. 4. С. 633-636.
3. **Смирнова Г.Н., Бородкин В.Ф., Дроздова Л.В.** Красители с оксиметилными группами для крашения полиэтилентерефталата. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 1967. Т. 10. Вып. 10. С. 1154-1156.
4. **Levente Karpati., Gyo'rgyi Szarka., Matyas Hartman., Viktoria Vargha.** Oligoester and Polyester Production via Acido-alcoholysis of PET Waste. *Period. Polytech. Chem. Eng.* 2018. V. 62. N 3. P. 336-344. DOI: 10.3311/PPCh.11513.
5. **Carta D., Cao G., D'Angeli C.** Chemical recycling of poly (ethylene terephthalate) (PET) by hydrolysis and glycolysis. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2003. V. 10. N 6. P. 390-394. DOI: 10.1065/espr2001.12.104.8.
6. **Krishanu Ghosal, Chinmaya Nayak.** Recent advances in chemical recycling of polyethylene terephthalate waste into value added products for sustainable coating solutions – hope vs. hype. *J. Mater. Adv.* 2022. V. 3. P. 1974-1992. DOI: 10.1039/D1MA01112J.
7. **Yue Q., Wang Z., Zhang L., Ni Y., Jin Y.** Glycolysis of poly (ethylene terephthalate) (PET) using basic ionic liquids as catalysts. *Polym. Degrad. Stab.* 2011. V. 96. N 4. P. 399-403. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.020.
8. **Karayannidis G., Nikolaidis A., Sideridou I., Bikiaris D., Archilias D.** Chemical recycling of PET by glycolysis: Polymerization and characterization of the dimethacrylated glycolysate. *Macromol. Mater. Eng.* 2006. V. 291. N 11. P. 1338-1347. DOI: 10.1002/mame.200600243.
9. **Juraev A.B., Adilov R.I., Nizomov T.A, Alimuxamedov M.G., Magrupov F.A.** Synthesis and Research of unsaturated Polyethers on the Basis of Secondary Polyethylene Terephthalate. *Kautschuk Gummi Kunststoff.* 2014. N 4. P. 41-44.
10. **Guclu G., Kasgo'z A., O'zbudak S., O'zgumus S., Orbay M.** Glycolysis of poly (ethylene terephthalate) wastes in xylene. *J. Appl. Polym. Sci.* 1998. V. 69. N 12. P. 2311-2319. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4628(19980919)69:12<2311::AID-APP2>3.0.CO;2-B.
11. **O'zturk Y., Guclu G.** Unsaturated polyester resins obtained from glycolysis products of waste PET. *Polymer-Plastics Tech. Eng.* 2005. V. 43. N 5. P. 1539-1552. DOI: 10.1081/PPT-200030272.

REFERENCES

1. **Bykov A.N., Loginova T.F., Golubeva A.N., Mityushina V.I., Borodkin V.F.** Study of colored low molecular weight polyethylene terephthalates. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 1967. V. 10. N 11. P. 1270-1273 (in Russian).
2. **Loginova T.F., Mityushina V.I., Bykov A.N., Borodkin V.F.** Properties of colored polyethylene terephthalate and colored lavesan fiber. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 1966. V. 9. N 4. P. 633-636 (in Russian).
3. **Smirnova G.N., Borodkin V.F., Drozdova L.V.** Dyes with hydroxymethyl groups for dyeing polyethylene terephthalate. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 1967. V. 10. N 10. P. 1154-1156 (in Russian).
4. **Levente Karpati., Gyo'rgyi Szarka., Matyas Hartman., Viktoria Vargha.** Oligoester and Polyester Production via Acido-alcoholysis of PET Waste. *Period. Polytech. Chem. Eng.* 2018. V. 62. N 3. P. 336-344. DOI: 10.3311/PPCh.11513.
5. **Carta D., Cao G., D'Angeli C.** Chemical recycling of poly (ethylene terephthalate) (PET) by hydrolysis and glycolysis. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2003. V. 10. N 6. P. 390-394. DOI: 10.1065/espr2001.12.104.8.
6. **Krishanu Ghosal, Chinmaya Nayak.** Recent advances in chemical recycling of polyethylene terephthalate waste into value added products for sustainable coating solutions – hope vs. hype. *J. Mater. Adv.* 2022. V. 3. P. 1974-1992. DOI: 10.1039/D1MA01112J.
7. **Yue Q., Wang Z., Zhang L., Ni Y., Jin Y.** Glycolysis of poly (ethylene terephthalate) (PET) using basic ionic liquids as catalysts. *Polym. Degrad. Stab.* 2011. V. 96. N 4. P. 399-403. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.020.
8. **Karayannidis G., Nikolaidis A., Sideridou I., Bikiaris D., Archilias D.** Chemical recycling of PET by glycolysis: Polymerization and characterization of the dimethacrylated glycolysate. *Macromol. Mater. Eng.* 2006. V. 291. N 11. P. 1338-1347. DOI: 10.1002/mame.200600243.
9. **Juraev A.B., Adilov R.I., Nizomov T.A, Alimuxamedov M.G., Magrupov F.A.** Synthesis and Research of unsaturated Polyethers on the Basis of Secondary Polyethylene Terephthalate. *Kautschuk Gummi Kunststoff.* 2014. N 4. P. 41-44.
10. **Guclu G., Kasgo'z A., O'zbudak S., O'zgumus S., Orbay M.** Glycolysis of poly (ethylene terephthalate) wastes in xylene. *J. Appl. Polym. Sci.* 1998. V. 69. N 12. P. 2311-2319. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4628(19980919)69:12<2311::AID-APP2>3.0.CO;2-B.
11. **O'zturk Y., Guclu G.** Unsaturated polyester resins obtained from glycolysis products of waste PET. *Polymer-Plastics Tech. Eng.* 2005. V. 43. N 5. P. 1539-1552. DOI: 10.1081/PPT-200030272.

12. **Chaudhary S., Surekha P., Kumar D., Rajagopal Ch., Roy P.K.** Microwave assisted Glycolysis of poly(ethylene terephthalate) for preparation of polyester polyols. *J. Appl. Polym. Sci.* 2013. V. 129. N 5. P. 2779-2788. DOI: 10.1002/app.38970.
13. **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. DOI:10.6060/ivkkt.20206302.6055.
14. **Стародубцев А.Б., Балакин В.М., Кычанов В.Е., Красильников М.А.** Структура и свойства продуктов деградации полиэтилентерефталата с диэтаноломином и триэтаноломином. *Пласт. массы.* 2013. Вып. 6. С. 3-5.
15. **Andrzej Gawłowski, Janusz Fabia, Czesław Ślusarczyk, Tadeusz Graczyk, Anna Pielesz.** Flame retardant modification of partially oriented poly (ethyleneterephthalates) fibers – structural conditions of application. *Polimery.* 2021. 62 (11-12). P. 848-854. DOI: 10.14314/polimery.2017.848.
16. **Jaemin Suh, Spruiell J.E., Steven A. Schwartz.** Melt spinning and drawing of 2-methyl-1,3-propandiol-substituted poly(ethylene terephthalate). *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 88. N 11. P. 2598-2606. DOI: 10.1002/app.11871.
17. **Elamri A., Abid K., Harzallah O., Lallam A.** Characterization of Recycled/ Virgin PET Polymers and their Composites. *Am. J. Nano Res. Applicat.* 2015. V. 3. N (4-1). P. 11-16. DOI: 10.11648/j.nano.s.2015030401.13.
18. **Li Hua, Ying-hua Qiao, Shan-shan Jin, Ya-dong Zhang.** Determination of the molecular weight of a novel hydroxy-terminated cyclohexene oxide and epichlorohydrin copolyether. *African J. Eng. Res.* 2018. V. 6. N 1. P. 10-14. DOI: 10.30918/AJER.61.18.002.
19. **Кабанова В.А.** Практикум высокомолекулярным соединениям. М.: Химия. 1985. 224 с.
20. **Торопцева А.М., Белгородская К.Л., Бондоренко В.М.** Лабораторной практикум по химии и технологии высокомолекулярных соединений. М.: Химия. 1972. 416 с.
21. **Mousa Ghaemy., Mossaddegh K.** Depolymerization of poly(ethylene terephthalate) fibre wastes using ethylene glycol. *Polym. Degradat. Stabil.* 2005. V. 90. N 3. P. 570-576. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.03.011.
22. **Fann D.M., Huang S.K., Lee J.Y.** Kinetics and thermal crystallinity of recycled PET. II. Topographic study on thermal crystallinity of the injection-molded recycled PET. *J. Appl. Polym. Sci.* 1996. V. 61. N 2. P. 261-271. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4628(19960711)61:2<261::AID-APP8>3.0.CO;2-N.
23. **Asnake Ketema, Amare Worku.** Review on Intermolecular Forces between Dyes Used for Polyester Dyeing and Polyester Fiber. *J. Chem.* 2020. ID 6628404. P. 7. DOI: 10.1155/2020/6628404.
24. **Ward I.M.** The molecular structure and mechanical properties of polyethylene terephthalate fibers. *Textile Res. J.* 1961. V. 7. N 31. P. 650-664. DOI: 10.1177/004051756103100711.
12. **Chaudhary S., Surekha P., Kumar D., Rajagopal Ch., Roy P.K.** Microwave assisted Glycolysis of poly(ethylene terephthalate) for preparation of polyester polyols. *J. Appl. Polym. Sci.* 2013. V. 129. N 5. P. 2779-2788. DOI: 10.1002/app.38970.
13. **Vesnin R.L., Alalykin A.A., Vokhmyanin M.A.** Polyethylene terephthalate waste recycling technology to produce terephthalic acid amide. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 2. P. 99-104 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206302.6055.
14. **Starodubtsev A.V., Balakin V.M., Kychanov V.E., Krasilnikov M.A.** Structure and properties of degradation products of polyethylene terephthalate with diethanolamine and triethanolamine. *Plast. Massy.* 2013. N 6. P. 3-5 (in Russian).
15. **Andrzej Gawłowski, Janusz Fabia, Czesław Ślusarczyk, Tadeusz Graczyk, Anna Pielesz.** Flame retardant modification of partially oriented poly (ethyleneterephthalates) fibers – structural conditions of application. *Polimery.* 2021. 62 (11-12). P. 848-854. DOI: 10.14314/polimery.2017.848.
16. **Jaemin Suh, Spruiell J.E., Steven A. Schwartz.** Melt spinning and drawing of 2-methyl-1,3-propandiol-substituted poly(ethylene terephthalate). *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 88. N 11. P. 2598-2606. DOI: 10.1002/app.11871.
17. **Elamri A., Abid K., Harzallah O., Lallam A.** Characterization of Recycled/ Virgin PET Polymers and their Composites. *Am. J. Nano Res. Applicat.* 2015. V. 3. N (4-1). P. 11-16. DOI: 10.11648/j.nano.s.2015030401.13.
18. **Li Hua, Ying-hua Qiao, Shan-shan Jin, Ya-dong Zhang.** Determination of the molecular weight of a novel hydroxy-terminated cyclohexene oxide and epichlorohydrin copolyether. *African J. Eng. Res.* 2018. V. 6. N 1. P. 10-14. DOI: 10.30918/AJER.61.18.002.
19. **Kabanova V.A.** Workshop on macromolecular compounds. L.: Khimiya. 1985. 224 p. (in Russian).
20. **Toroptseva A.M., Belgorodskaya K.V., Bondarenko V.M.** Laboratory workshop on chemistry and technology of macromolecular compounds. L.: Khimiya. 1972. 416 p. (in Russian).
21. **Mousa Ghaemy., Mossaddegh K.** Depolymerization of poly(ethylene terephthalate) fibre wastes using ethylene glycol. *Polym. Degradat. Stabil.* 2005. V. 90. N 3. P. 570-576. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.03.011.
22. **Fann D.M., Huang S.K., Lee J.Y.** Kinetics and thermal crystallinity of recycled PET. II. Topographic study on thermal crystallinity of the injection-molded recycled PET. *J. Appl. Polym. Sci.* 1996. V. 61. N 2. P. 261-271. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4628(19960711)61:2<261::AID-APP8>3.0.CO;2-N.
23. **Asnake Ketema, Amare Worku.** Review on Intermolecular Forces between Dyes Used for Polyester Dyeing and Polyester Fiber. *J. Chem.* 2020. ID 6628404. P. 7. DOI: 10.1155/2020/6628404.
24. **Ward I.M.** The molecular structure and mechanical properties of polyethylene terephthalate fibers. *Textile Res. J.* 1961. V. 7. N 31. P. 650-664. DOI: 10.1177/004051756103100711.

Поступила в редакцию 22.08.2022

Принята к опубликованию 10.01.2023

Received 22.08.2022

Accepted 10.01.2023