

УДК 678.7–036

А. Ф. Мануленко, Л. А. Ленартович, Н. Р. Прокопчук

Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ СУПЕРКОНЦЕНТРАТОВ НАПОЛНИТЕЛЕЙ
И СТАБИЛИЗАТОРОВ НА ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ ПОЛИЭТИЛЕНА**

Изучено влияние на тепловое старение композиций совместного и отдельного введения в полиэтиленовую матрицу суперконцентратов наполнителей (ADDITIVE 13169, TALC MB, EFPE 1001, VC PE 175) и стабилизаторов (PA10). На образцах композитов, полученных методом литья под давлением, оценена их термостабильность: по динамике изменения деформационно-прочностных свойств в процессе теплового старения; значениям энергии активации термоокислительной деструкции; содержанию карбонильных групп в ИК-спектрах. Разработаны композиции, содержащие суперконцентраты мела (VC PE 175) и талька (TALC MB) и суперконцентрат стабилизатора PA10, обладающие повышенной термостабильностью.

Ключевые слова: суперконцентрат, стабилизатор, наполнитель, термостабильность, полиэтилен, тепловое старение, полимерный композиционный материал

A. Ph. Manylenko, L. A. Lenartovich, N. R. Prokopchuk

Belarusian State Technological University

**THE INFLUENCE OF MASTERBATCHES OF FILLERS
AND STABILIZERS ON POLYETHYLENE'S THERMOSTABILITY**

The article presents the influence of joint and separate introduction of fillers (ADDITIVE 13169, TALC MB, EFPE 1001, VC PE 175) and stabilizers (PA10) masterbatches on the thermal aging of polyethylene's composites. It was estimated the thermal stability of polyethylene compositions by determining dynamics change of strength properties during thermal aging. The activation energy of thermal oxidative degradation of polyethylene compositions was calculated. The content of carbonyl groups in the IR spectra was determined. Compositions with high thermal stability containing masterbatches chalk (VC PE 175) and talc (TALC MB) and masterbatch stabilizer PA10 were developed.

Key words: masterbatch, stabilizer, filler, thermostability, polyethylene, heat aging, polymer composite material

Введение. В настоящее время широкое применение нашли композиционные материалы на основе полимеров. Такие материалы обладают целым рядом преимуществ по сравнению с ненаполненными пластмассами. Они сочетают в себе несколько компонентов, обладающих определенными свойствами, а совместное их действие отражается в возникновении синергетического эффекта [1]. Однако наполненные полимерные материалы так же, как и чистые полимеры, подвержены отрицательному воздействию различных внешних факторов: температуры, солнечного света, радиации, кислорода воздуха. Поэтому возникает необходимость в стабилизации таких композитов. Вопросы наполнения и стабилизации полимеров в отдельности хорошо изучены. При создании композиций, содержащих два и более компонента, иногда происходит ухудшение характеристик изделий за счет возможных явлений антагонизма [2–10]. Ранее нами было исследовано взаимное влияние мелкодисперсных наполнителей и стабилизаторов при их совместном введении в полимерные матрицы [11]. Представленная работа продолжает цикл исследований по данной тематике.

Основная часть. Целью данной работы было изучение влияния на термостабильность композиций полиэтилена (ПЭ) промышленных суперконцентратов наполнителей и стабилизаторов при отдельном и совместном их применении.

Использование суперконцентратов наполнителей и стабилизаторов по сравнению с применением добавок в порошкообразном виде имеет ряд преимуществ: равномерность распределения добавки в полимерной матрице, отсутствие потерь добавок в результате осыпания порошка в формующем оборудовании, малый износ оборудования, отсутствие агломератов частиц наполнителя, приводящих к возможному браку изделий, и др.

В данной работе использовали следующие суперконцентраты наполнителей:

– суперконцентрат гранулированный тальконаполненный ADDITIVE 13169 фирмы «Cromex» (Бразилия): основа-полимер – полиэтилен, максимальная термостойкость – 300°C, нетоксичный, содержание талька – 60 мас. %;

– суперконцентрат тальконаполненный TALC MB фирмы «Prayag Polytech» (Индия): основа-полимер – полиэтилен, максимальная

термостойкость – 280°C, дисперсия – отличная, нетоксичный, содержание талька – 60 мас. %;

– суперконцентрат мелонаполненный EFPE 1001 E-Filler (Europlast, Вьетнам): основа-полимер – полиэтилен, нетоксичный, содержание карбоната кальция – 75 мас. %, температура плавления – 110°C;

– суперконцентрат мелонаполненный VC PE 175 E-Filler (Europlast, Вьетнам): основа-полимер – полиэтилен, нетоксичный, содержание карбоната кальция – 75 мас. %.

Для стабилизации композиций использовали суперконцентрат гранулированный PA10 ЗАО «Глобал Колорс» (РФ): термостойкость при 200°C – не менее 5 мин, содержание термостабилизаторов – 10 мас. %. В композиции вводили 3 мас. % суперконцентрата стабилизатора.

Необходимо отметить, что точный состав суперконцентратов наполнителей и стабилизаторов является коммерческой тайной предприятий-изготовителей, и кроме полимера-носителя и основной добавки они могут содержать различные соединения, улучшающие распределение в материале и внешний вид изделий.

Для предварительной оценки состава суперконцентратов использовали метод ИК-спектроскопии. На рис. 1 представлен ИК-спектр стабилизатора PA10. Обнаружены колебания гидроксильных групп в области 3600–3650 см⁻¹, а также колебания в области 1080–1150 см⁻¹, характерные для фенолов. Обнаруженные на спектре полосы поглощения при 2412 и 2289 см⁻¹ отвечают за валентные колебания связи РН, полоса поглощения при 2662 см⁻¹ относится к

валентным колебаниям группы РООН. Полосы поглощения 772, 723 и 642 см⁻¹ относятся к деформационным колебаниям связи С_{ар}–Н. Таким образом, можно предположить, что стабилизатор PA10 представляет собой смесь стабилизаторов фенольного и фосфитного типов.

Исследования PA10 с помощью энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа (рис. 2) позволили определить наличие кальция (0,10%) и никеля (0,11%), что объясняется, возможно, присутствием в нем диспергирующей или скользящей добавки [12].

Образцы для испытаний получали методом литья под давлением на термопластавтомате BOY 22A (Dr. Boy, Германия). Испытания образцов типа 2 (лопатка, ГОСТ 11262–80) проводили согласно ГОСТ 11262–80 на Тензометре T2020 DC10 SH (Alpha Technologies UK, США). Количество образцов в каждом испытании составляло 5 шт.

Ускоренное термоокислительное старение образцов проводили в термошкафу в воздушной среде при температуре 100°C. Устойчивость к воздействию повышенной температуры оценивали по изменению значений показателей относительного удлинения при разрыве и прочности при растяжении в результате теплового старения. Время экспозиции образцов в термошкафу составляло 150 и 300 ч. Перед определением деформационно-прочностных характеристик проводили кондиционирование образцов по ГОСТ 12423–66 в течение 6 ч при температуре (23 ± 1)°C. Количество образцов в каждой выборке составляло 10 шт.

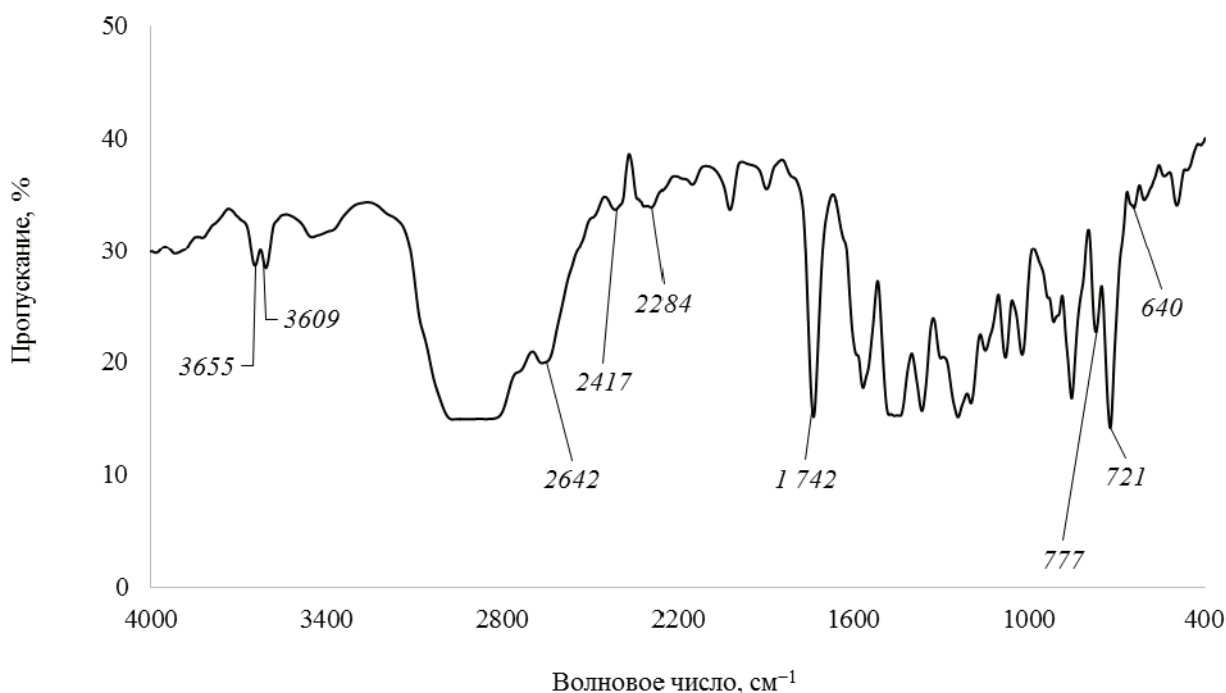


Рис. 1. ИК-спектр суперконцентрата стабилизатора PA10

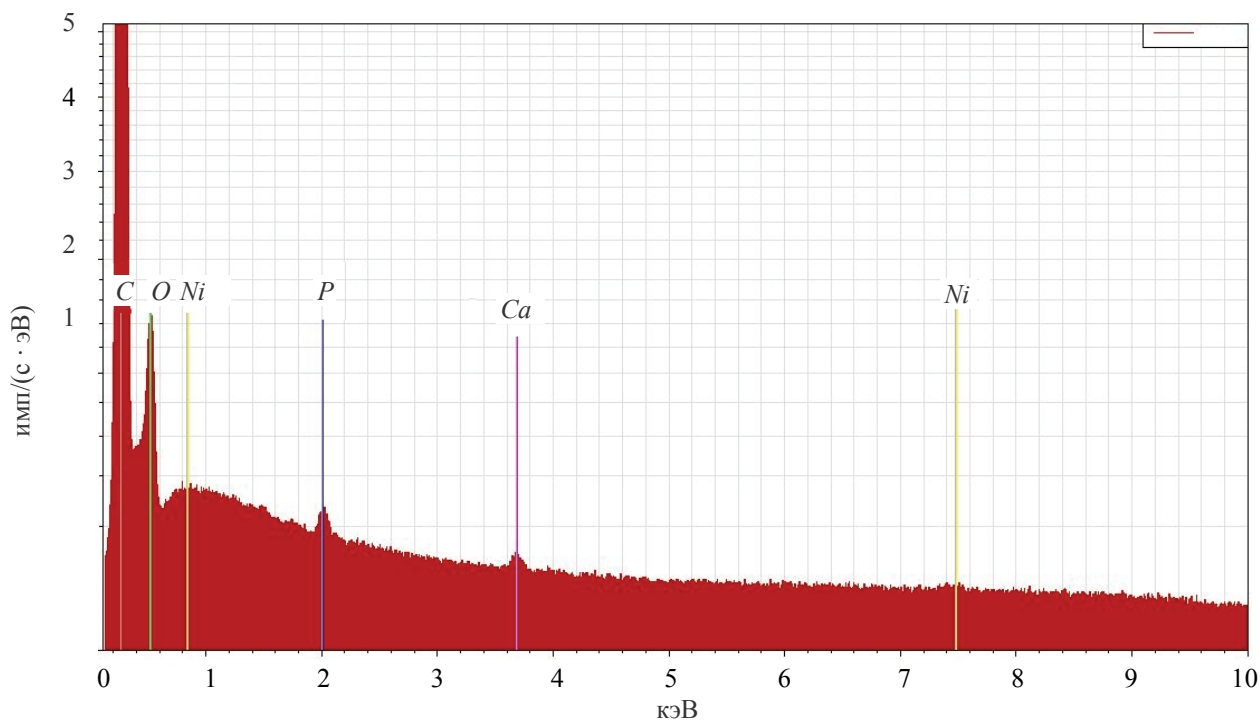


Рис. 2. Рентгеноспектральный анализ суперконцентрата стабилизатора PA10

Расчет энергии активации термо-окислительной деструкции композиций проводили согласно методике [13] по кривым ТГА, снятым на приборе TGA/DSCI (Mettler Toledo, Швейцария). Использовали метод ИК-спектроскопии (Nexus ESP, Thermo Nicolet, США) для идентификации соединений.

Важным параметром, определяющим качество полимерных композитов, является равномерность распределения наполнителей и стабилизаторов в полимерной матрице. Наличие агломератов частиц наполнителя, возникающих в результате плохого диспергирования, приводит к возникновению дефектных участков в структуре композита, выступающих в качестве концентраторов напряжений и способствующих ухудшению деформационно-прочностных свойств материалов.

С помощью электронного микроскопа оценена равномерность распределения частиц наполнителя в полимерной матрице. На рис. 3 представлены снимки, полученные для ПЭ, содержащего 10 мас. % VC PE 175. Из рис. 3 видно, что в композите наблюдается равномерное распределение наполнителя, отсутствие агломератов частиц, что свидетельствует о хорошем распределении суперконцентрата в объеме полимера.

Полученные результаты по изучению устойчивости композиций к тепловому старению в зависимости от продолжительности экспозиции представлены в табл. 1.

Для нестабилизированного ПЭ после 300 ч старения значения относительного удлинения снижаются до 70%, использование суперконцентрата термостабилизатора позволяет замедлить процесс деструкции, что выражается в сохранении свойств на уровне 79%.

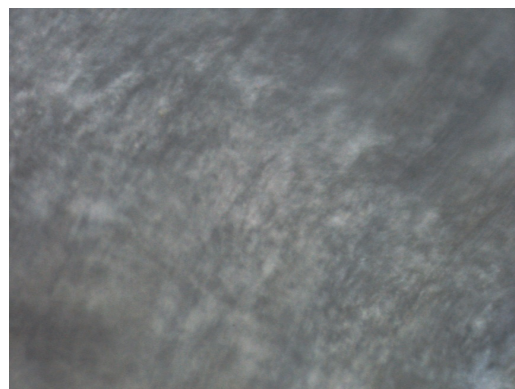


Рис. 3. Фотография поверхности ПЭ, содержащего 10 мас. % наполнителя VC PE 175 (степень увеличения – 250 раз)

При увеличении времени старения от 0 до 150 ч происходит постепенное увеличение прочности при растяжении для всех исследуемых композиций, что связано с преобладающим развитием процессов сшивки над процессами деструкции. При дальнейшем увеличении времени старения до 300 ч значения прочности уменьшаются, что свидетельствует об активном развитии деструктивных процессов.

Таблица 1

Изменение деформационно-прочностных свойств композиций в результате их теплового старения

Наполнитель	Концентрация, мас. %	Стабилизатор	ε, %			σ, МПа		
			Время старения, ч					
			0	150	300	0	150	300
Без наполнителя	–	–	97,3	77	70	11	14,1	13,2
		3% PA10	91,6	94	79	10,57	13,42	12,7
TALC MB	10	–	95,6	84	80	11,86	13,04	12,4
		3% PA10	103,6	98,2	98	11,44	12,54	12,04
	20	–	90	74	71	12,4	12,8	12
		3% PA10	95	84,4	87,2	12,06	12,92	12,26
ADDITIVE 13169	10	–	88	83,2	62	12,08	13,38	11,96
		3% PA10	102	97,6	100	12,3	12,9	12
	20	–	82	51	31	12,42	12,6	12,2
		3% PA10	85	80,8	62	9,5	13,25	12,7
EFPE 1001	10	–	84,4	70	55,3	12,86	13,75	11,3
		3% PA10	87	88	79,6	11,4	11,82	12,48
	20	–	84,7	73,2	52	12,6	13,02	11,28
		3% PA10	80,4	78,5	70	11,76	12,8	10,86
VC PE 175	10	–	88	84	80	10,6	13,1	12,2
		3% PA10	88,5	93	84	11,08	13,26	12,3
	20	–	80	70	55	10,52	13,56	11,44
		3% PA10	80,8	77,6	76	10,3	13,18	12,44
TALC MB + VC PE 175	5 + 5	–	94,8	88	89,2	12,71	13,48	12,36
		3% PA10	95	92	90	12,42	12,72	12,4
TALC MB + EFPE 1001	5 + 5	–	96,4	87	86,8	12,3	12,7	11,68
		3% PA10	100,4	85,6	86,4	12	12,5	11,9

Из литературных источников [1] известно, что введение дисперсных наполнителей в сравнительно небольших количествах (до 10 мас. %), способствует сохранению или даже некоторому повышению прочности полимерного материала. Известно также, что мел в количестве до 20 мас. % вводят в полиолефины, в частности полипропилен, используемый для производства пластмассовой мебели [14]. Поэтому в данной работе использовались полимерные композиции, степень наполнения которых составляла 10 и 20 мас. % в пересчете на чистый наполнитель. Наиболее интенсивно происходит снижение свойств для композиций, содержащих EFPE 1001 и ADDITIVE 13169 (при 10 мас. %). При увеличении степени наполнения композиций до 20 мас. % интенсивность протекания окислительных процессов возрастает по сравнению с чистым полиэтиленом. Наиболее интенсивно происходят процессы старения при использовании наполнителя ADDITIVE 13169. Таким образом, с увеличением степени наполнения композиций интенсивность протекания окислительных процессов возрастает, что отражается в падении прочности и относительного удлинения.

При совместном введении наполнителя и стабилизатора возможно как их взаимное усиливающее действие, так и обратное ему, что было отмечено в нашей предыдущей публика-

ции [11]. Однако ранее исследования проводили с использованием порошкообразных стабилизаторов и наполнителей. В производственных условиях в большинстве случаев применяют удобные технологичные формы для ввода добавок – суперконцентраты в виде гранул. Это облегчает дозировку и позволяет равномерно распределять добавки по всему объему полимерной матрицы. Поэтому в настоящей работе рассматривается влияние совместного использования суперконцентратов стабилизаторов и наполнителей на устойчивость композиций к тепловому старению.

Из табл. 1 видно, что для композиций, содержащих 10 мас. % VC PE 175, значения ε составляет 80% после 300 ч старения. Применение термостабилизатора PA10 приводит к сохранению значений относительного удлинения на уровне 84%. Использование стабилизатора при степени наполнения 20 мас. % позволяет сохранить ε на уровне 76% после 300 ч старения в сравнении с 55% для наполненной нестабилизированной композиции. В композициях, содержащих наполнитель EFPE 1001, использование стабилизирующей добавки PA10 позволяет значительно замедлить протекание окислительных процессов, что выражается в сохранении свойств после 300 ч старения в сравнении с нестабилизированными наполненными

образцами. Необходимо отметить, что нестабилизированные композиции, содержащие 10 и 20 мас. % наполнителя EFPE 1001, более подвержены развитию термоокислительной деструкции, чем композиции, содержащие VC PE 175, о чем свидетельствуют значения относительно удлинения после 300 ч старения. Таким образом, можно сделать вывод, что использование исследованных мелосодержащих суперконцентратов значительно влияет на свойства композиций, и замена их при производстве изделий отразится на характеристиках конечного продукта. Использование PA10 позволяет замедлить протекание деструктивных процессов, что свидетельствует об эффективности применения данных добавок. Сравнение полученных результатов по изучению динамики изменения деформационно-прочностных свойств композиций в результате их старения свидетельствует о различном влиянии суперконцентратов ADDITIVE 13169 и TALC MB на устойчивость к тепловому старению. Использование ADDITIVE 13169 приводит к ускорению протекания процессов старения по сравнению с чистым ПЭ. К замедлению развития деструкции в процессе теплового старения приводит применение TALC MB в количестве 10 мас. % ($\epsilon = 80\%$ после 300 ч старения). Введение суперконцентрата стабилизатора PA10 позволяет значительно повысить устойчивость к термоокислительной деструкции, что проявляется в сохранении значений ϵ после 300 ч старения на 16% (при 20 мас. %) и 20% (при 10 мас. %).

При использовании смесей талькосодержащего суперконцентрата TALC MB и мелосодержащих VC PE 175 или EFPE 1001 в соотношении 1 : 1 (10 мас. %) наблюдается повышение термостабильности как в сравнении с чистым ПЭ, так и с ПЭ, содержащим все исследуемые суперконцентраты наполнителей в отдельности. Возможно, это связано с различным механизмом действия каждого наполнителя на ингибирование процессов окисления. Мелкодисперсные частицы мела могут выступать в качестве зародышей кристаллообразования, приводя к образованию мелкокристаллической структуры, более устойчивой к воздействию температуры. Более крупные частицы талька вытесняются в аморфную часть, где наблюдается ингибирующее влияние твердой поверхности на цепные процессы окисления и распада макромолекул под действием температуры. Таким образом, возможно, наблюдается ингибирующее действие наполнителей по двум механизмам, приводящим к повышению устойчивости к термоокислению [15]. Однако такой эффект наблюдается при относительно небольшом содержании наполнителей – 10%, при

увеличении их содержания нами установлен обратный эффект усиления скорости деструкции.

Для изучения устойчивости исследуемых композиций к тепловому старению использовали независимый метод ее определения по энергии активации термоокислительной деструкции. Рассчитанные значения эффективной энергии активации термоокислительной деструкции представлены в виде табл. 2. Исходный ПЭ обладает низкой термостабильностью, расчетное значение E_d составляет 108 кДж/моль.

Таблица 2

Значения энергии активации термоокислительной деструкции

Композиция	E_d , кДж/моль
ПЭ (100 мас. %) исходный	108
ПЭ + PA10	160
ПЭ + 10% TALC MB	146
ПЭ + 10% TALC MB + PA10	159
ПЭ + 10% VC PE 175	131
ПЭ + 10% VC PE 175 + PA10	169
ПЭ + 5% VC PE 175 + 5% TALC MB	186
ПЭ + 5% VC PE 175 + 5% TALC MB + PA10	178

Использование стабилизатора PA10 позволяет замедлить развитие деструктивных процессов окисления, о чем свидетельствует повышение значения E_d до 160 кДж/моль. Использование наполнителей мелосодержащего VC PE 175 и талькосодержащего TALC MB в количестве 10 мас. %, а также их смеси в соотношении 1 : 1 (5% VC PE 175 : 5% TALC MB) оказывает ярко выраженный стабилизирующий эффект, что проявляется в значительном повышении значений E_d , особенно в случае применения смеси наполнителей ($E_d = 186$ кДж/моль). Применение стабилизатора PA10 в наполненном ПЭ эффективно для композиций, содержащих наполнители в отдельности (от 9% для TALC MB до 23% для VC PE 175), что коррелирует с данными по изучению деформационно-прочностных свойств. В случае введения PA10 в композицию, содержащую смесь наполнителей, значение E_d снижается до 178 кДж/моль. Данный эффект можно объяснить возможным взаимодействием между стабилизатором, наполнителями и присутствующими органическими соединениями, входящими в состав исследованных суперконцентратов наполнителей.

Для подтверждения данного предположения получены спектры поглощения стабилизированных и нестабилизированных композиций ПЭ, содержащих смесь наполнителей 5 мас. % TALC MB и 5 мас. % VC PE 175 (рис. 4).

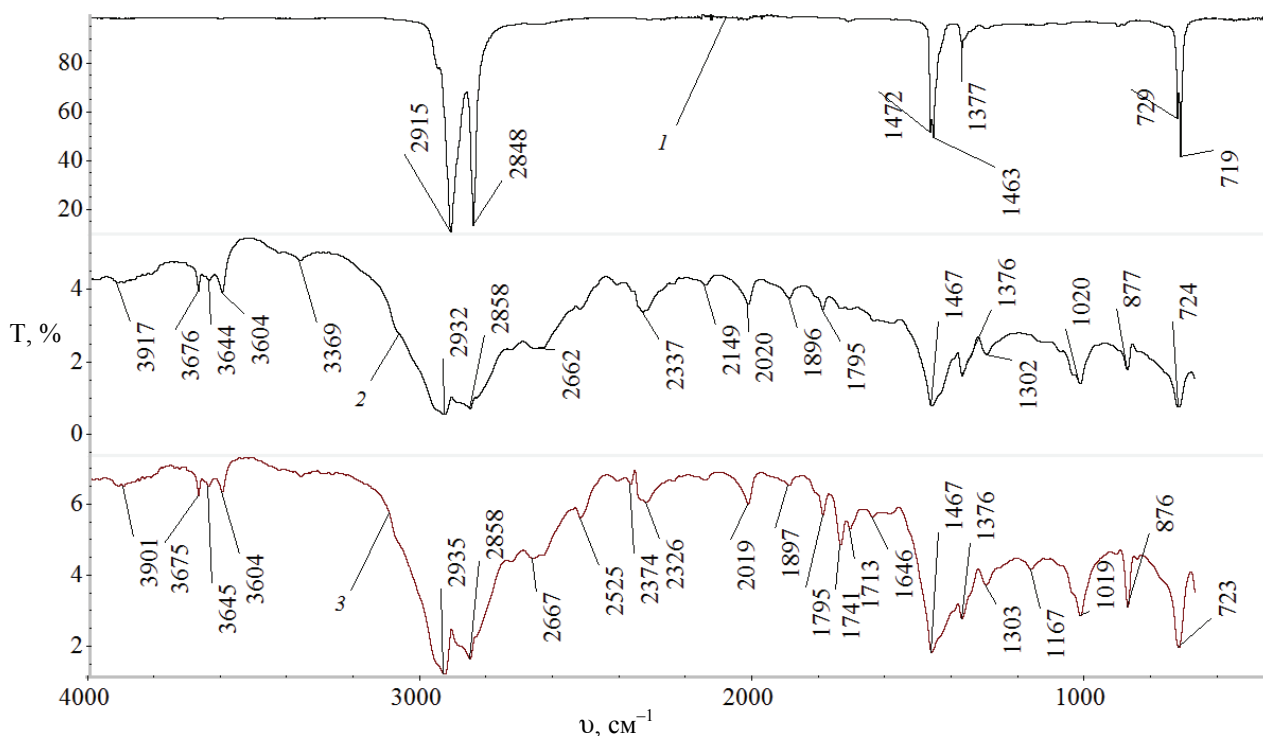


Рис. 4. ИК-спектры ПЭ, содержащего наполнители и стабилизатор:
 1 – ПЭ; 2 – ПЭ + смесь наполнителей VC PE 175 (5 мас. %) + TALC MB (5 мас. %) + стабилизатор ПО PA10 (3 мас. %); 3 – ПЭ + смесь наполнителей VC PE 175 (5 мас. %) + TALC MB (5 мас. %)

Из рис. 4 видно, что на спектре ПЭ, содержащего смесь наполнителей без стабилизатора (спектр 2), присутствует интенсивный пик при 1741 см^{-1} (он отвечает за присутствие связи C=O). Полоса при 1741 см^{-1} наблюдается также на спектре суперконцентрата стабилизатора PA10 (рис. 1). На спектре ПЭ, содержащего смесь наполнителей и PA10, вместо ожидаемого увеличения интенсивности полосы поглощения при 1741 см^{-1} наблюдается ее уменьшение, что свидетельствует о взаимодействии между стабилизатором PA10 и соединениями, входящими в состав суперконцентратов наполнителей.

Заключение. Исследована устойчивость композиций ПЭ к тепловому старению в зависимости от применяемых суперконцентратов наполнителей и стабилизатора, а также их комбинаций. Определены лучшие мело- (10 мас. % VC PE 175) и талькосоодержащие (10 мас. % TALC MB) суперконцентраты, позволяющие повысить термостабильность композиций ПЭ на 21 и 35% соответственно, а также их комбинации с суперконцентратом стабилизатора. Обнаружен антагонистический эффект при использовании комбинации из трех суперконцентратов. Показана необходимость учитывать взаимное влияние компонентов композиций.

Литература

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М. Л. Кербер [и др.]. СПб.: Профессия, 2008. 560 с.
2. Malik J., Sidgi M. Новые системы стабилизаторов в полиолефиновых водопроводных трубах // Пластические массы. 2006. № 10. С. 36–39.
3. Некоторые аспекты антагонизма компонентов в термопластичных полимерных материалах / А. И. Екимов [и др.] // Полимерные материалы. 2007. № 9. С. 6–11.
4. Пфенднер Р. Добавки сегодня и в будущем // Полимерные материалы. 2007. № 9. С. 2–7.
5. Подходы к стабилизации композиционных полимерных материалов / Е. В. Калугина [и др.] // Пластические массы. 2006. № 10. С. 30–32.
6. Термоокислительная стабильность γ -облученного саженаполненного ПЭ в присутствии различных антиоксидантов / Т. А. Бурухина [и др.] // Пластические массы. 1985. № 11. С. 23–24.
7. Probing synergism, antagonism, and additive effects in poly(vinyl ester) (PVE) composites with fire retardants / K. Everson [et al.] // Polym. Degrad. and Stab. 2006. Vol. 91, No. 6. P. 1209–1218.
8. Wilen C.-E., Pfaendner R. Improving weathering resistance of flame-retarded polymers // Journal of Applied Polymer Science. 2013. Vol. 129, No. 6. P. 925–944.

9. Interactions between carbon black and stabilizers in LDPE thermal oxidation / J. M. Pena [et al.] // *Polymer Degradation and Stability*. 2001. Vol. 72, No. 1. P. 163–174.

10. Gerard C., Fontaine G., Bourbigot S. Synergistic and antagonistic effects in flame retardancy of an intumescent epoxy resin // *Polymers Advanced Technologies*. 2011. Vol. 22, No. 7. P. 1085–1090.

11. Ленартович Л. А., Прокопчук Н. Р., Яценко В. В. Изучение теплового старения наполненных композиций полиэтилена // *Материалы, технологии, инструменты*. 2010. Т. 15, № 1. С. 69–73.

12. Любимов А. Г., Прокопчук Н. Р., Мануленко А. Ф. Ингибирование термоокислительной деструкции полипропилена // *Известия НАН Беларуси (серия физико-технических наук)*. 2013. № 1. С. 15–19.

13. Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов: СТБ 1333.0-2002. Введ. 28.06.2002. Минск: Минстройархитектура, 2002. 11 с.

14. Николаев А. Ф. Технология полимерных материалов: учеб. пособие. СПб.: Профессия, 2008. 544 с.

15. Соломко В. П. Наполненные кристаллизующиеся полимеры. Киев: Наук. думка, 1980. 264 с.

References

1. Kerber M. L., Vinogradov V. M., Golovkin G. S. *Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svojstva, tehnologija* [Polymeric composites: structure, properties and technology]. St. Petersburg, Professija Publ., 2008. 560 p.

2. Malik J., Sidgi M. The new systems of stabilizers for polyolefin's water pipes. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2006, no. 10, pp. 36–39 (In Russian).

3. Ekimov A. I., Ayzinson I. L., Kulachinskaya O. B. Some aspects of antagonism between components in thermoplastic polymeric materials. *Polimernye materialy* [Polymeric materials], 2007, no. 9, pp. 6–11 (In Russian).

4. Pfendner R. Additives today and in the future. *Polimernye materialy* [Polymeric materials], 2007, no. 9, pp. 2–7 (In Russian).

5. Kalugina E. V., Ivanov A. N., Tochinn V. A. Approaches for stabilization of polymer composite materials. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2006, no. 10, pp. 30–32 (In Russian).

6. Burukhina T. A., Berlyant S. M., Pleshanov V. P. Thermal stability γ -irradiated carbon-black-extended PE in the presence of various antioxidants. *Plasticheskie massy* [Plastics], 1985, no. 11, pp. 23–24 (In Russian).

7. Everson K. Probing synergism, antagonism, and additive effects in poly(vinyl ester) (PVE) composites with fire retardants. *Polym. Degrad. and Stab.*, 2006, vol. 91, no. 6, pp. 1209–1218.

8. Wilen C.-E., Pfaendner R. Improving weathering resistance of flame-retarded polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, vol. 129, no. 6, pp. 925–944.

9. Pena J. M., Allen N. S., Edge M., Liauw C. M., Valange B. Interactions between carbon black and stabilizers in LDPE thermal oxidation. *Polym. Degrad. and Stab.*, 2001, vol. 72, no. 1, pp. 163–174.

10. Gerard C., Fontaine G., Bourbigot S. Synergistic and antagonistic effects in flame retardancy of an intumescent epoxy resin. *Polymers Advanced Technologies*, 2011, vol. 22, no. 7, pp. 1085–1090.

11. Lenartovich L. A., Prokopchuk N. R., Yatsenko V. V. The study of thermal aging of filled polyethylene compositions. *Materialy, tekhnologii, instrumenti* [Materials, technology, tools], 2010, vol. 15, no. 1, pp. 69–73 (In Russian).

12. Lyubimov A. G., Prokopchuk N. R., Manulenko A. F. The inhibition of thermal oxidative degradation of polypropylene. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi (seryya fizika-tekhnichnykh navuk)* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus (Series of physical and technical sciences)], 2013, no. 1, pp. 15–19 (In Russian).

13. СТБ 1333.0-2002. Products polymeric for construction. Method for determining the durability of the activation energy of thermal oxidative degradation of polymeric materials. Minsk, Ministry of Architecture Publ., 2002. 11 p. (In Russian).

14. Nikolaev A. F. *Tekhnologiya polimernykh materialov* [The technology of polymeric materials]. St. Petersburg, Professija Publ., 2008. 544 p.

15. Solomko V. P. *Napolnennyye kristallizuyushchiesya polimery* [Filled crystallizing polymers]. Kiev, Nauk. Dumka Publ., 1980. 264 p.

Информация об авторах

Мануленко Александр Филиппович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Ленартович Лилия Алексеевна – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский госу-

дарственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lenartovich@belstu.by

Прокопчук Николай Романович – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: n.r.prok@gmail.com

Information about the authors

Manulenko Aleksandr Filippovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor, Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Lenartovich Liliya Alekseevna – PhD (Engineering), researcher, Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lenartovich@belstu.by

Prokopchuk Nikolai Romanovich – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Professor, Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: n.r.prok@gmail.com

Поступила 23.02.2016