

DOI: 10.32864/polymmattech-2025-11-3-43-49

УДК 678:536.46

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТИПИРЕНОВ НА ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНУЮ ДЕСТРУКЦИЮ, ГОРЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНА

Ю. М. КРИВОГУЗ¹⁺, А. А. ДАВЫДОВ¹, В. В. ШЕВЧЕНКО¹, О. А. МАКАРЕНКО¹, ХОАНГ МАЙ ХА², НГУЕН ТХИ ХАНХ²

¹Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова 32а, 246050, Гомель, Беларусь

²Институт химии Вьетнамской академии науки и технологии, ул. Хоанг Куок Вьет, 18, округ Кау Гиай, г. Ханой, Вьетнам

Цель работы — изучение влияния азот-фосфорсодержащего антипирена (АФА) и его бинарной смеси с боратом цинка (БЦ) на термоокислительную деструкцию, горючесть и технологические характеристики композиционных материалов на основе полиэтилена высокой плотности (ПЭВП).

Получение композитов с пониженной горючестью осуществляли методом экструзионного смешения ПЭВП с антипиренами в двухшнековом экструдере «TSSK-35/40». Температура в зонах смешения экструдера составляла около 190 °С при частоте вращения шнека ($v_{ш}$) 300 мин⁻¹.

Результаты исследований показали, что введение АФА и АФА + БЦ приводит к снижению температуры начала деструкции ПЭВП, но одновременно ускоряет процесс коксообразования на его поверхности. Об этом свидетельствует увеличение количества твердого остатка при 500 °С, варьирующегося от 2,8% до 9,8% в зависимости от состава композиции.

Показано, что композиты ПЭВП, содержащие комбинацию АФА и БЦ, демонстрируют улучшенную огнестойкость, обусловленную одновременным формированием защитного коксоподобного слоя и керамических структур. В частности, композит ПЭВП + АФА + БЦ превосходит как исходный ПЭВП, так и композит ПЭВП + АФА по замедлению скорости горения.

Установлено, что введение АФА и АФА + БЦ с концентрацией до 23,0 мас.% приводит к снижению показателя текучести расплава и уменьшению сдвиговой чувствительности вязкости расплава по сравнению с чистым ПЭВП. Это свидетельствует о потенциальном улучшении перерабатываемости композитов, содержащих антипирены.

Ключевые слова: полиэтилен, композиты, антипирены, термоокислительная деструкция, огнестойкость, технологические свойства.

⁺Автор для переписки. E-mail: yurikriv@tut.by

Для цитирования:

Кривогуз Ю. М., Давыдов А. А., Шевченко В. В., Макаренко О. А., Хоанг Май Ха, Нгуен Тхи Ханх. Исследование влияния антипиренов на термоокислительную деструкцию, горение и технологические свойства полиэтилена // Полимерные материалы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 43–49. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-3-43-49>

[†]Author for correspondence. E-mail: yurikriv@tut.by

For citation:

Krivoguz Yu. M., Davydov A. A., Shevchenko V. V., Makarenko O. A., Hoang Mai Ha, Nguyen Thi Hanh. Issledovanie vliyaniya antipirenov na termookislitel'nyuyu destruktsiyu, gorenje i tekhnologicheskie svoystva polietilena [Study of the fire retardants influence on thermal-oxidative destruction, combustion and technological properties of polyethylene]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2025, vol. 11, no. 3, pp. 43-49. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-3-43-49>

STUDY OF THE FIRE RETARDANTS INFLUENCE ON THERMAL-OXIDATIVE DESTRUCTION, COMBUSTION AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF POLYETHYLENE

YU. M. KRIVOGUZ^{1†}, A. A. DAVYDOV¹, V. V. SHEVCHENKO¹, O. A. MAKARENKO¹, HOANG MAI HA², NGUYEN THI HANH²

¹V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

²Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, Hoang Quoc Viet St. 18, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

The aim of the work is to study the effect of nitrogen-phosphorus-containing flame retardant (NPFR) and its binary mixture with zinc borate (ZB) on thermal-oxidative degradation, flammability and technological characteristics of composite materials based on high-density polyethylene (HDPE).

The production of composites with reduced flammability was carried out by extrusion mixing of HDPE with flame retardants in a twin-screw extruder TSSK-35/40. The temperature in the extruder mixing zones was maintained at 190 °C at a screw rotation frequency (v_s) of 300 min⁻¹.

The results of the studies showed that the introduction of NPFR and NPFR + ZB leads to a decrease in the temperature of the onset of HDPE degradation, but simultaneously accelerates the process of coke formation on its surface. This is evidenced by the increase in the amount of solid residue at 500 °C, varying from 2.8% to 9.8% depending on the composition of the composite. It is shown that HDPE composites containing a combination of NPFR and ZB demonstrate improved fire resistance due to the simultaneous formation of a protective coke-like layer and ceramic structures. In particular, the HDPE + NPFR + ZB composite surpasses both the original HDPE and the HDPE + NPFR composite in terms of slowing down the combustion rate. It was found that the introduction of NPFR and NPFR + ZB in a concentration of up to 23.0 wt.% leads to a decrease in the melt flow index (MFI) and a decrease in the shear sensitivity of the viscosity of the melts compared to pure HDPE. This indicates a potential improvement in the processability of composites containing flame retardants.

Keywords: polyethylene, composites, fire retardants, thermal-oxidative destruction, fire resistance, technological properties.

Поступила в редакцию 21.02.2025

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Литература

1. Polyolefin Compounds and Materials: Fundamentals and Industrial Applications / eds.: Mariam Al-Ali AlMa'adeed, Igor Krupa. New York : Springer, 2016. 354 p.
2. Chung M. Polyolefin from Commodity to Specialty // Material. Sci. Eng., 2015, vol. 4, is. 2. doi: 10.4172/2169-0022.1000e111
3. Antonov A. V., Reshetnikov I. S., Khalturinskij N. A. Combustion of char-forming polymeric systems // Russ. Chem. Rev., 1999, vol. 68, no. 7, pp. 605–614. doi: 10.1070/RC1999v068n07ABEH000408
4. Асеева Р. М., Занков Г. Е. Горение полимерных материалов. Москва : Наука, 1981. 280 с.
5. Khalturinskii N. A., Popova T. V., Berlin A. A. The Combustion of Polymers and the Mechanism of Action of Fire-proofing Agents // Russ. Chem. Rev., 1984, vol. 53, is. 2, pp. 197–209. doi: 10.1070/RC1984v053n02ABEH003041
6. Boryniec S., Przygocki W. Polymer Combustion Processes. 3. Flame Retardants for Polymeric Materials // Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology, 2001, vol. 17, is. 2, pp. 127–148. doi: 10.1177/147776060101700204
7. Мешкова И. Н., Петросян А. И., Лалаян В. М., Дубникова И. Л. Сравнительный анализ свойств полимеризационно наполненных полиэтиленовых композиций пониженной горючести // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 2008. Т. 50, № 5. С. 918–924.
8. Tan S., Tincer T. Flammability and Mechanical Properties of Al(OH)₃ and BaSO₄ Filled Polypropylene // Journal of Applied Polymer

- Science, 2010, vol. 118, pp. 3034–3040. doi: 10.1002/app.32729
9. Reshetnikov I., Antonov A., Rudakova T., Aleksjuk G., Khalturinskij N. Some aspects of intumescent fire retardant systems // *Polymer Degradation and Stability*, 1996, vol. 54, pp. 137–141.
 10. Shen K. K., Kochesfahani S., Jouffret F. Zinc borates as multifunctional polymer additives // *Polym. Adv. Technol.*, 2008, vol. 19, is. 6, pp. 469–474. doi: 10.1002/pat.1119
 11. Кодолов В. И. Замедлители горения полимерных материалов. Москва : Химия, 1980. 242 с.
 12. Kandola B. K., Price D., Milnes G. J., Da Silva A. Development of a novel experimental technique for quantitative study of melt dripping of thermoplastic polymers // *Polym. Degrad. Stab.*, 2013, vol. 98, is. 1, pp. 52–63. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.10.028
 13. Калинин Э. Л., Саковцева М. Б. Свойства и переработка термопластов : справочное пособие. Ленинград : Химия, 1983, 288 с.
 14. Кербер М. Л., Буканов А. М., Вольфсон С. И., Горбунова И. Ю., Кандырин Л. Б., Сирота А. Г., Шерышев М. А. Физические и химические процессы при переработке полимеров. Санкт-Петербург : Научные основы и технологии, 2013. 314 с.

References

1. *Polyolefin Compounds and Materials: Fundamentals and Industrial Applications*. Eds.: Mariam Al-Ali AlMa'adeed, Igor Krupa. New York : Springer, 2016. 354 p.
2. Chung M. Polyolefin from Commodity to Specialty. *Material. Sci. Eng.*, 2015, vol. 4, is. 2. doi: 10.4172/2169-0022.1000e111
3. Antonov A. V., Reshetnikov I. S., Khalturinskij N. A. Combustion of char-forming polymeric systems. *Russ. Chem. Rev.*, 1999, vol. 68, no. 7, pp. 605–614. doi: 10.1070/RC1999v068n07ABEH000408
4. Aseeva P. M., Zaikov G. E. *Gorenie polimernykh materialov* [Combustion of polymeric materials]. Moscow : Nauka Publ., 1981. 280 p.
5. Khalturinskii N. A., Popova T. V., Berlin A. A. The Combustion of Polymers and the Mechanism of Action of Fire-proofing Agents. *Russ. Chem. Rev.*, 1984, vol. 53, is. 2, pp. 197–209. doi: 10.1070/RC1984v053n02ABEH003041
6. Boryniec S., Przygocki W. Polymer Combustion Processes. 3. Flame Retardants for Polymeric Materials. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology*, 2001, vol. 17, is. 2, pp. 127–148. doi: 10.1177/147776060101700204
7. Meshkova I. N., Petrosyan A. I., Lalayan V. M., Dubnikova I. L. Sravni-tel'nyy analiz svoystv polimerizatsionno napolnennykh polietilennykh kompozitsiy ponizhennoy goryuchesti [Comparative analysis of the properties of polymerization-filled polyethylene compositions with reduced flammability]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. B* [Polymer Science: Series B - Polymer Chemistry], 2008, vol. 50, no. 5, pp. 918–924.
8. Tan S., Tincer T. Flammability and Mechanical Properties of Al(OH)₃ and BaSO₄ Filled Polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, vol. 118, pp. 3034–3040. doi: 10.1002/app.32729
9. Reshetnikov I., Antonov A., Rudakova T., Aleksjuk G., Khalturinskij N. Some aspects of intumescent fire retardant systems. *Polymer Degradation and Stability*, 1996, vol. 54, pp. 137–141.
10. Shen K. K., Kochesfahani S., Jouffret F. Zinc borates as multifunctional polymer additives. *Polym. Adv. Technol.*, 2008, vol. 19, is. 6, pp. 469–474. doi: 10.1002/pat.1119
11. Kodolov V. I. *Zamedliteli goreniya polimernykh materialov* [Flame retardants for polymeric materials]. Moscow : Khimiya Publ., 1980. 242 p.
12. Kandola B. K., Price D., Milnes G. J., Da Silva A. Development of a novel experimental technique for quantitative study of melt dripping of thermoplastic polymers. *Polym. Degrad. Stab.*, 2013, vol. 98, is. 1, pp. 52–63. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.10.028
13. Kalinchev E. L., Sakovtseva M. B. Svoystva i pererabotka termoplastov [Properties and processing of thermoplastics]. Leningrad : Khimiya Publ., 1983, 288 p.
14. Kerber M. L., Bukanov A. M., Volfson S. I., Gorbunova I. Yu., Kandyrin L. B., Sirota A. G., Sheryshev M. A. *Fizicheskie i khimicheskie protsessy pri pererabotke polimerov* [Physical and chemical processes in polymer processing]. Saint-Petersburg : Nauchnye osnovy i tekhnologii Publ., 2013. 314 p.