

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА ЛИНЕЙНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ

О. В. Кропотин¹, Е. А. Рогачев¹, Е. А. Дроздова², А. А. Каленчук¹,
Е. Г. Глуховеря¹, О. В. Малий¹

¹ Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

² ООО «Омск Карбон Групп»,
Россия, 644024, г. Омск, ул. Пушкина, 17/1

Экспериментально исследовано влияние электропроводного технического углерода на электрофизические и механические свойства линейного полиэтилена низкой плотности. Определены структурные параметры технического углерода, которые оказывают существенное влияние на электропроводность технического углерода и электропроводность полимерных композиционных материалов при его применении в качестве наполнителя. Установлено, что введение 10–20 масс. % технического углерода в линейный полиэтилен низкой плотности обеспечивает высокую проводимость композиционных материалов, повышая при этом их модуль упругости, но в то же время снижает относительное удлинение при разрыве. Показано, что в целом исследованный технический углерод является перспективным наполнителем при разработке электропроводных полимерных композиционных материалов электротехнического и радиотехнического назначения.

Ключевые слова: электропроводный технический углерод, линейный полиэтилен низкой плотности, электропроводные полимерные композиты, структура технического углерода, механические свойства полимерных композитов.

Введение

Уникальное сочетание электрофизических и механических свойств электропроводных полимерных композиционных материалов (ПКМ) обуславливает их широкое применение в различных областях, в том числе в электротехнике и радиотехнике [1–4]. Электропроводность таких ПКМ, необходимая для конкретного технического применения, обеспечивается применением в качестве наполнителей электропроводящих материалов, чаще всего — технического углерода (ТУ).

Наиболее распространенной полимерной матрицей для подобных материалов является полиэтилен. Широкая номенклатура видов и марок полиэтилена с различным сочетанием физико-химических свойств позволяет создавать ПКМ различного назначения. Линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП) обладает высокой эластичностью и химической стойкостью, расплав ЛПЭНП характеризуется высокой текучестью. Поэтому он вызывает большой интерес у исследователей в качестве матрицы для электропроводных ПКМ [5, 6].

Среди марок технического углерода, представленных на рынке, особый интерес вызывают новые перспективные марки электропроводного ТУ, применение которых открывает возможности создания электропроводных ПКМ с регулируемыми эксплуатационными параметрами [7–9]. Эффективное управление физическими свойствами ПКМ в этом случае может быть реализовано благодаря существенно меньшему (по сравнению с известными

марками) содержанию ТУ в матрице, обеспечивающему необходимую электропроводность ПКМ и, таким образом, максимальное сохранение свойств полимерной матрицы и возможность для дополнительной модификации.

Цель данной работы — экспериментальное исследование влияния электропроводной марки технического углерода OMCARB SH600 на электрическую проводимость и механические характеристики ПКМ на основе ЛПЭНП, определение области применения разработанных ПКМ и путей повышения эффективности применения исследуемого наполнителя.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования в данной работе — электропроводные полимерные композиты на основе ЛПЭНП RM3845UV (ТУ 20.16.10-236-00203335-2019), модифицированного электропроводным техническим углеродом серии OMCARB SH600 производства ООО «Омск Карбон Групп».

В работе исследовались ненаполненный ЛПЭНП и ПКМ на его основе, содержащие 5, 10, 15, 20 масс. % ТУ. Измерение общей площади поверхности по многоточечной адсорбции азота NSA проводили в соответствии с ASTM D 6556, измерение внешней площади поверхности по адсорбции азота STSA проводили в соответствии с ASTM D 6565.

Удельное электрическое сопротивление технического углерода измеряли в соответствии с ТУ 38 11574-86.

Медиана D	7,781	Среднее V	7,782
Мода D	7,079	Ср.кв.откл.	0,479
25%D(μm)	3,689	50%D(μm)	7,781
75%D(μm)	16,388	0%D(μm)	0,000
0%D(μm)	0,000	0%D(μm)	0,000
0%D(μm)	0,000	0%D(μm)	0,000
0%D(μm)	0,000	0%D(μm)	0,000
0%D(μm)	0,000	0%D(μm)	0,000

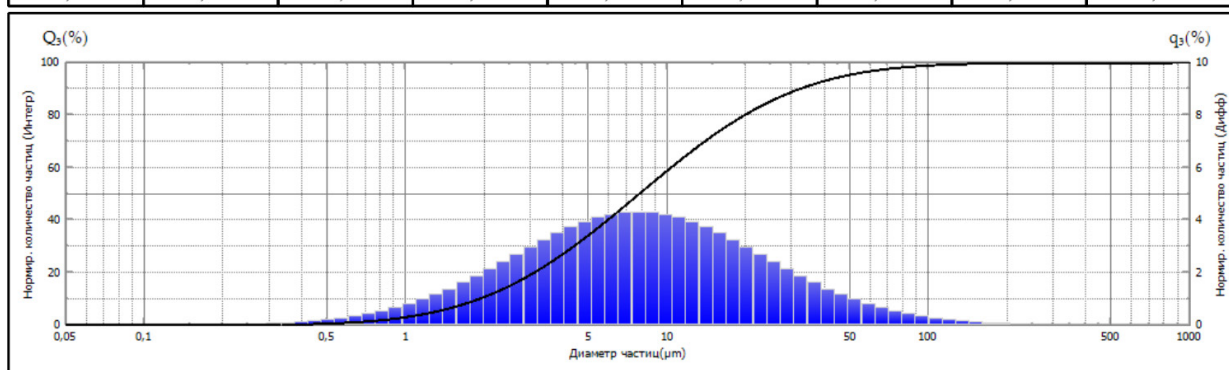


Рис. 1. Распределение частиц ТУ по размерам
Fig. 1. Distribution of carbon black particles by size

Таблица 1. Удельная электропроводность композитов ЛПЭНП+ТУ
Table 1. Electrical conductivity composites LLDPE+CB

Содержание ТУ, масс. %	0	5	10	15	20
Удельная электропроводность, Ом·см) ⁻¹	< 1,4·10 ⁻²⁰	< 1,4·10 ⁻²⁰	3,3·10 ⁻⁵	5,1·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻²

Распределение частиц ТУ по размерам определяли с помощью лазерного анализатора размеров частиц Shimadzu SALD-2300.

Удельное объемное электрическое сопротивление ПКМ измеряли с помощью милли-тераомметра Milli TO-3 (ASTM D 991-89).

Испытания образцов ПКМ на растяжение проводили на разрывной машине Zwick/Roell (ГОСТ 11262-2017).

Показатель текучести расплава (ПТР) исследованных материалов измерялся с помощью экструзионного пластомера Instron CEAST Modular Melt Flow Tester MF 20 при нагрузке 21,19 Н.

При изготовлении образцов для лабораторных исследований композиционную смесь ЛПЭНП+ТУ предварительно смешивали в шаровой мельнице в течение 60 минут (скорость 200 об/мин). Изготовление композитов осуществлялось двойным экструдированием на лабораторном одношнековом экструдере SCAMEX RHEOSCAM Micro-extruder. Полученная после каждого экструдирования стружка разрезалась на гранулы с использованием гранулятора Scamex Granulateur Fraise. Образцы для лабораторных исследований получали спеканием на термопрессе JOOS LAP 40.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Измеренные значения общей NSA и внешней STSA площади поверхности OMCARB SN600 составили 598 м²/г и 360 м²/г соответственно. В соответствии с классификацией ТУ по значениям NSA и STSA, использованной в работе [8], данная марка технического углерода относится к высокоструктурным маркам ТУ. Высокая структурность технического углерода является одним из основных требований для обеспечения высокой электропроводности ПКМ на его основе.

Удельное электрическое сопротивление ТУ составило 0,0015 Ом·м, что также характеризует SN600 как марку с высокой электропроводностью.

Распределение частиц ТУ по размерам (рис. 1) описывается логнормальным распределением с медианой 7,781 мкм. Одной из задач, решаемых при подготовке композиционной смеси в шаровой мельнице, является измельчение гранул ТУ, что предположительно повысит эффективность применения ТУ при формировании электропроводящей сетки из частиц наполнителя в полимерной матрице.

По результатам исследования электропроводности ПКМ ЛПЭНП+ТУ (табл. 1) установлено, что порог перколяции находится в интервале 5–10 масс. % содержания наполнителя. При содержании 20 масс. % ТУ в композите удельная проводимость ПКМ увеличивается в 394 раза в сравнении с образцом ПКМ, содержащим 10 масс. % ТУ.

Сопоставляя результаты, представленные в табл. 1, с литературными данными [2, 5, 6, 10], можно сделать следующие выводы:

- применение в качестве наполнителя ЛПЭНП технического углерода марки SN600 отечественного производства позволяет получить объемную электропроводность ПКМ при содержании наполнителя 15–20 масс. % на 1–2 порядка больше, чем применение высокоструктурного ТУ зарубежного производства в полиэтилене низкой плотности по данным работы [8];

- SN600 является эффективным наполнителем при создании электропроводных полимерных композитов на основе ЛПЭНП: порог перколяции соответствует содержанию ТУ в интервале 5–10 масс. %;

- композиты на основе ЛПЭНП, содержащие 10–20 масс. % ТУ, по уровню электропроводности относятся к электропроводным материалам, рекомендуемым к использованию в сенсорах, саморегулирующихся нагревателях, самовосстанавливающихся предохранителях [2, 10].

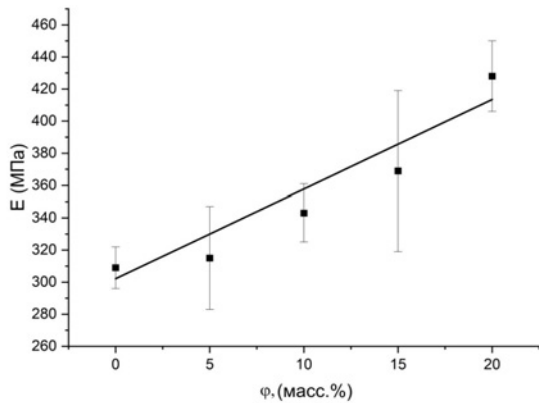


Рис. 2. Зависимость модуля упругости композитов ЛПЭНП+ТУ от содержания наполнителя
Fig. 2. Dependence of the elastic modulus of composites LLDPE + CB on the content of the filler

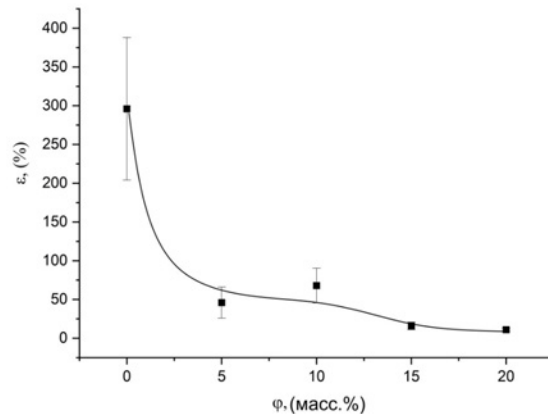


Рис. 4. Зависимость относительного удлинения при разрыве композитов ЛПЭНП+ТУ от содержания наполнителя
Fig. 4. Dependence of the relative elongation of composites LLDPE + CB on the content of the filler

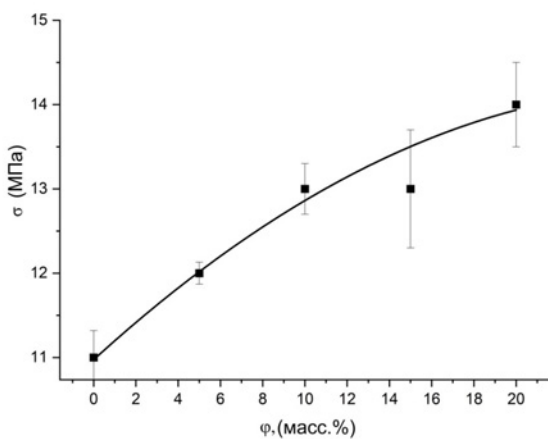


Рис. 3. Зависимость прочности при растяжении композитов ЛПЭНП+ТУ от содержания наполнителя
Fig. 3. Dependence of the tensile strength of composites LLDPE + CB on the content of the filler

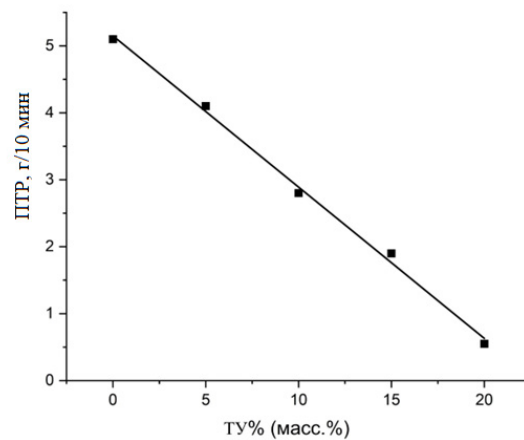


Рис. 5. Зависимость показателя текучести расплава композитов ЛПЭНП+ТУ от содержания наполнителя
Fig. 5. Dependence of the melt flow rate of composites LLDPE + CB on the content of the filler

При введении в ЛПЭНП технического углерода СН600 модуль упругости ПКМ линейно увеличивается (рис. 2) вплоть до значения, превышающего значение для ненаполненного полимера на 38 %, при содержании ТУ 20 масс. %.

Прочность при растяжении (максимальное механическое напряжение при растяжении) ПКМ ЛПЭНП+ТУ при увеличении содержания ТУ возрастает и при содержании ТУ 20 масс. % превышает соответствующее значение для ненаполненного ЛПЭНП на 27 % (рис. 3).

Относительное удлинение при разрыве ПКМ при введении в ЛПЭНП СН600 снижается (рис. 4). Для композита, содержащего 5 масс. % ТУ, значение относительного удлинения при разрыве меньше, чем для ненаполненного ЛПЭНП в 6,4 раза.

В целом, полученные результаты исследования зависимости механических свойств композитов ЛПЭНП+ТУ от содержания наполнителя качественно соответствуют общим закономерностям для таких ПКМ [5, 6, 8]. В качестве общих причин снижения прочностных характеристик для полиэтилена, наполненного ТУ, обычно рассматриваются слабая адгезия поверхности углеродного наполнителя и полимера, агломерация и неравномерное распределение частиц ТУ в матрице [6, 11].

Показатель текучести расплава композитов ЛПЭНП+ТУ (рис. 5) линейно уменьшается во всем исследуемом интервале содержания ТУ. Значение ПТР для ПКМ, содержащего 20 масс. % ТУ меньше соответствующего значения для ненаполненного ЛПЭНП, в 9 раз. Такая закономерность изменения ПТР полимерных композитов при введении в полимер жестких частиц углеродных наполнителей обычно связывается с ограничением молекулярной подвижности в полимере частицами наполнителя [12, 13].

Заключение

Технический углерод СН600 проявил себя как эффективный наполнитель при создании электропроводных композиционных материалов на основе ЛПЭНП, обеспечивающий удельную электрическую проводимость ПКМ в интервале $3,3 \cdot 10^{-5} - 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ (Ом}\cdot\text{см)}^{-1}$ при содержании в композите 10–20 масс. % ТУ. Применение разработанных ПКМ с содержанием ТУ 10–20 масс. % возможно в качестве электропроводных ПКМ при умеренных требованиях к модулю упругости материала и прочности при растяжении с допустимостью пониженных значений относительного удлинения при разрыве.

Для повышения прочностных характеристик ПКМ ЛПЭНП+ТУ целесообразно применение комплексного наполнителя, включающего кроме СН600 армирующий компонент, и (или) внесение изменений в технологию получения ПКМ относительно использованной в данной работе.

Список источников

1. Donnet J. B. Carbon black: science and technology. 2nd ed. USA, 1993. 460 p. DOI: 10.1201/9781315138763.
2. Цобкалло Е. С., Москалюк О. А., Степашкина А. С. Функциональные композиционные полимерные материалы электротехнического назначения // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2020. № 78 (52). С. 28–35. DOI: 10.36807/1998-9849-2020-52-78-28-35. EDN ZRBXWB.
3. Bezzon V. D. N., Montanheiro T. L. A., de Menezes B. R. C. [et al.]. Carbon Nanostructure-based Sensors: A Brief Review on Recent Advances // Advances in Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 2019, no. 4. P. 1–21. DOI: 10.1155/2019/4293073.
4. Liu Y., Zhang H., Porwal H. [et al.]. Pyroresistivity in conductive polymer composites: a perspective on recent advances and new applications // Polymer International. 2019. Vol. 68, no. 3. P. 299–305. DOI: 10.1002/pi.5735.
5. Al-Qahtani N., Al-Ejji M., Ouederin M. [et al.]. Effect of Carbon Black Loading on Linear Low-Density Polyethylene Properties // Journal of Material Science and Metallurgy. 2020. Vol. 10. P. 1–10. DOI: 10.21203/rs.3.rs-134229/v1.
6. Badrul F., Mohd Salleh M. A. A., Osman A. F. [et al.]. Effect of Various Conductive Filler Additions on the Percolations Threshold of LLDPE Conductive Polymer Composites // Acta Physica Polonica A. 2022. Vol. 142, no. 1. P. 137–140. DOI: 10.12693/APhysPolA.142.137.
7. Раздьяконова Г. И., Лихолобов В. А., Моисеевская Г. В. Инновационный дисперсный углерод. От идеи до технологии: моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 312 с. ISBN 978-5-8149-1907-6.
8. Fathi A., Hatami K., Grady B. P. Effect of carbon black structure on low-strain conductivity of polypropylene and low-density polyethylene composites // Polymer Engineering and Science. 2012. Vol. 52, no. 3. P. 549–556. DOI: 10.1002/pen.22115.
9. Моисеевская Г. В., Раздьяконова Г. И., Петин А. А. [и др.]. Инновационные направления расширения ассортимента технического углерода в России // Химия в интересах устойчивого развития. 2017. Т. 25, № 1. С. 49–56. DOI: 10.15372/KhUR20170107. EDN: XWRWIH.
10. Pang H., Xu L., Yan D.-H., Li Z.-M. Conductive polymer composites with segregated structures // Progress in Polymer Science. 2014. Vol. 39, no. 11. P. 1908–1933. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2014.07.007.
11. Noer Z., Nasruddin M. N., Bukit N. [et al.]. Characterization of low-density polyethylene (LDPE)/carbon black (CB) nanocomposite-based packaging material // Journal of Physics Conference Series. 2018. Vol. 1120, no. 1. P. 012066. DOI: 10.1088/1742-6596/1120/1/012066.
12. Paszkiewicz S., Szymczyk A., Zubkiewicz A. [et al.]. Enhanced Functional Properties of Low-Density Polyethylene Nanocomposites Containing Hybrid Fillers of Multi-Walled Carbon Nanotubes and Nano Carbon Black // Polymers. 2020. Vol. 12, no. 6. P. 1356. DOI: 10.3390/polym12061356.
13. Khanam P. N., AlMaadeed M. A., Ouedermi M. [et al.]. Melt processing and properties of linear low density polyethylene-

graphene nanoplatelet composites // Vacuum. 2016. Vol. 130. P. 63–71. DOI: 10.1016/j.vacuum.2016.04.022.

КРОПОТИН Олег Витальевич, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Физика», заведующий кафедрой «Физика» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 4218-4900

AuthorID (РИНЦ): 118225

ORCID: 0000-0002-6620-9945

AuthorID (SCOPUS): 6505835545

ResearcherID: H-4616-2013

Адрес для переписки: kropotin@mail.ru

РОГАЧЕВ Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Физика» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 1373-4622

AuthorID (РИНЦ): 670217

ORCID: 0000-0003-2622-7492

AuthorID (SCOPUS): 56503848300

ResearcherID: AAS-1459-2020

Адрес для переписки: evg.rogachev@yandex.ru

ДРОЗДОВА Екатерина Андреевна, руководитель проектов ООО «Омск Карбон Групп», г. Омск.

SPIN-код: 5357-2358

AuthorID (РИНЦ): 1178997

ORCID: 0000-0001-8099-5148

ResearcherID: НКV0849-2023

Адрес для переписки: Ea_ntk@mail.ru

КАЛЕНЧУК Анастасия Александровна, ассистент кафедры «Физика» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 1088-8851

AuthorID (РИНЦ): 1174971

ORCID: 0000-0002-6221-2135

ResearcherID: AEL4759-2022

Адрес для переписки: sia.k98@mail.ru

ГЛУХОВЕРЯ Евгений Григорьевич, ассистент кафедры «Физика» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 2578-4140

AuthorID (РИНЦ): 814812

Адрес для переписки: jon31_1992@yahoo.com

МАЛИЙ Ольга Владимировна, студентка группы БИОМ-221 ОмГТУ, г. Омск.

ORCID: 0000-0001-5405-5902

ResearcherID: НТТ-0376-2023

Адрес для переписки: malij_olga@mail.ru

Для цитирования

Кропотин О. В., Рогачев Е. А., Дроздова Е. А., Каленчук А. А., Глуховеря Е. Г., Малий О. В. Влияние электропроводного технического углерода на свойства линейного полиэтилена низкой плотности // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2023. Т. 7, № 3. С. 89–94. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-3-89-94.

Статья поступила в редакцию 20.09.2023 г.

© О. В. Кропотин, Е. А. Рогачев, Е. А. Дроздова, А. А. Каленчук, Е. Г. Глуховеря, О. В. Малий

THE EFFECT OF ELECTRICALLY CONDUCTIVE CARBON BLACK ON PROPERTIES OF THE LINEAR LOW-DENSITY POLYETHYLENE

O. V. Kropotin¹, E. A. Rogachev¹, E. A. Drozdova², A. A. Kalenchuk¹,
E. G. Glukhovaya¹, O. V. Maliy¹

¹ Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

² LLC «Omsk Carbon Group»,
Russia, Omsk, Pushkin str., 17/1, 644024

The effect of electrically conductive carbon black on the electrophysical and mechanical properties of the linear low-density polyethylene has been experimentally investigated. The structural parameters of carbon black have been determined, which have a significant effect on the electrical conductivity of carbon black and the electrical conductivity of polymer composite materials when it is used as a filler. It is established that the introduction of 10–20 wt. % carbon black in linear low-density polyethylene provides high conductivity of composite materials, while increasing their modulus of elasticity, but at the same time reduces elongation at break. It is shown that, in general, the studied carbon black is a promising filler in the development of electrically conductive polymer composite materials for electrical and radio engineering purposes.

Keywords: electrically conductive carbon black, linear low-density polyethylene, electrically conductive polymer composites, carbon black structure, mechanical properties of polymer composites.

References

1. Donnet J. B. Carbon black: science and technology. 2nd ed. USA, 1993. 460 p. DOI: 10.1201/9781315138763. (In Engl.).
2. Tsobkallo E. S., Moskalyuk O. A., Stepashkina A. S. Funktsional'nyye kompozitsionnyye polimernyye materialy elektrotekhnicheskogo naznacheniya [Functional composite polymer materials for electrical purpose] // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo Instituta (Tekhnicheskogo Universiteta). *Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*. 2020. No. 78 (52). P. 28–35. DOI: 10.36807/1998-9849-2020-52-78-28-35. EDN ZRBXWB. (In Russ.).
3. Bezzon V. D. N., Montanheiro T. L. A., de Menezes B. R. C. [et al.]. Carbon Nanostructure-based Sensors: A Brief Review on Recent Advances // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 2019, no. 4. P. 1–21. DOI: 10.1155/2019/4293073. (In Engl.).
4. Liu Y., Zhang H., Porwal H. [et al.]. Pyroresistivity in conductive polymer composites: a perspective on recent advances and new applications // *Polymer International*. 2019. Vol. 68, no. 3. P. 299–305. DOI: 10.1002/pi.5735. (In Engl.).
5. Al-Qahtani N., Al-Ejji M., Ouederin M. [et al.]. Effect of Carbon Black Loading on Linear Low-Density Polyethylene Properties // *Journal of Material Science and Metallurgy*. 2020. Vol. 10. P. 1–10. DOI: 10.21203/rs.3.rs-134229/v1. (In Engl.).
6. Badrul F., Mohd Salleh M. A. A., Osman A. F. [et al.]. Effect of Various Conductive Filler Additions on the Percolations Threshold of LLDPE Conductive Polymer Composites // *Acta Physica Polonica A*. 2022. Vol. 142, no. 1. P. 137–140. DOI: 10.12693/APhysPolA.142.137. (In Engl.).
7. Razd'yakonova G. I., Likholobov V. A., Moiceevskaya G. V. Innovatsionnyy dispersnyy uglerod. Ot idei do tekhnologii [Innovative dispersed carbon. From idea to technology]. Omsk, 2014. 312 p. ISBN 978-5-8149-1907-6. (In Russ.).
8. Fathi A., Hatami K., Grady B. P. Effect of carbon black structure on low-strain conductivity of polypropylene and low-density polyethylene composites // *Polymer Engineering and Science*. 2012. Vol. 52, no. 3. P. 549–556. DOI: 10.1002/pen.22115. (In Engl.).
9. Moiseevskaya G. V., Razd'yakonova G. I., Petin A. A. [et al.]. Innovatsionnyye napravleniya rasshireniya assortimenta tekhnicheskogo ugleroda v Rossii [Innovative trends in expanding carbon black types in Russia] // *Khimiya v Interesakh Ustoychivogo Razvitiya. Chemistry for Sustainable Development*. 2017. Vol. 25, no. 1. P. 49–56. DOI: 10.15372/KhUR20170107. EDN: XWRWIH. (In Russ.).
10. Pang H., Xu L., Yan D.-H., Li Z.-M. Conductive polymer composites with segregated structures // *Progress in Polymer Science*. 2014. Vol. 39, no. 11. P. 1908–1933. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2014.07.007. (In Engl.).
11. Noer Z., Nasruddin M. N., Bukit N. [et al.]. Characterization of low-density polyethylene (LDPE)/carbon black (CB) nanocomposite-based packaging material // *Journal of Physics Conference Series*. 2018. Vol. 1120, no. 1. P. 012066. DOI: 10.1088/1742-6596/1120/1/012066. (In Engl.).
12. Paszkiewicz S., Szymczyk A., Zubkiewicz A. [et al.]. Enhanced Functional Properties of Low-Density Polyethylene Nanocomposites Containing Hybrid Fillers of Multi-Walled Carbon Nanotubes and Nano Carbon Black // *Polymers*. 2020. Vol. 12, no. 6. P. 1356. DOI: 10.3390/polym12061356. (In Engl.).
13. Khanam P. N., AlMaadeed M. A., Ouederni M. [et al.]. Melt processing and properties of linear low density polyethylene-graphene nanoplatelet composites // *Vacuum*. 2016. Vol. 130. P. 63–71. DOI: 10.1016/j.vacuum.2016.04.022. (In Engl.).

KROPOTIN Oleg Vitalievich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Physics Department, Head of Physics Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.
SPIN-code: 4218-4900
AuthorID (RSCI): 118225
ORCID: 0000-0002-6620-9945
AuthorID (SCOPUS): 6505835545



ResearcherID: H-4616-2013
Correspondence address: kropotin@mail.ru
ROGACHEV Evgeniy Anatolievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Physics Department, OmSTU, Omsk.
SPIN-code: 1373-4622
AuthorID (RSCI): 670217
ORCID: 0000-0003-2622-7492
AuthorID (SCOPUS): 56503848300
ResearcherID: AAS-1459-2020
Correspondence address: evg.rogachev@yandex.ru
DROZDOVA Ekaterina Andreevna, Project Manager Omsk Carbon Group LLC, Omsk.
SPIN-code: 5357-2358
AuthorID (RSCI): 1178997
ORCID: 0000-0001-8099-5148
ResearcherID: HKV0849-2023
Correspondence address: ea_ntk@mail.ru
KALENCHUK Anastasiia Alexandrovna, Assistant of Physics Department, OmSTU, Omsk.
SPIN-code: 1088-8851
AuthorID (RSCI): 1174971
ORCID: 0000-0002-6221-2135
ResearcherID: AEL4759-2022

Correspondence address: sia.k98@mail.ru
GLUHOVERYA Evgeny Grigorievich, Assistant of Physics Department, OmSTU, Omsk.
SPIN-code: 2578-4140
AuthorID (RSCI): 814812
Correspondence address: jon31_1992@yahoo.com
MALIY Ol'ga Vladimirovna, Student of the BIOm-221 gr., OmSTU, Omsk.
ORCID: 0000-0001-5405-5902
ResearcherID: HTT-0376-2023
Correspondence address: malij_olga@mail.ru

For citations

Kropotin O. V., Rogachev E. A., Drozdova E. A., Kalenchuk A. A., Glukhoverya E. G., Maliy O. V. The effect of electrically conductive carbon black on properties of the linear low-density polyethylene // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2023. Vol. 7, no. 3. P. 89–94. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-3-89-94.

Received September 20, 2023.

© O. V. Kropotin, E. A. Rogachev, E. A. Drozdova, A. A. Kalenchuk, E. G. Glukhoverya, O. V. Maliy