

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-3-6-15>

УДК 678.027.96; 678.741.43

ПОРИСТЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

В. М. БУЗНИК^{1,3}, Н. В. СЕВОСТЬЯНОВ¹⁺, А. Е. РОЗЕН², О. Н. ЛОГИНОВ², М. А. ХАСКОВ¹, П. Н. МЕДВЕДЕВ¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, ул. Радио, 17, 105005, г. Москва, Россия

²Пензенский государственный университет, ул. Красная, 40, 440026, г. Пенза, Россия

³Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина, Ленинский проспект, 65, 119991, Москва

Благодаря высокой химической стойкости политетрафторэтилена (ПТФЭ) пористые материалы из него имеют широкую востребованность.

Цель работы — получить пористый материал на основе ПТФЭ вытравливанием металлической составляющей из металлополимерного композиционного материала (МПКМ), полученного методом взрывного нагружения (ВН), и изучить его структурные особенности.

Установлено, что, при вытравливании металлического наполнителя из МПКМ, формируется каркас на основе ПТФЭ, имеющий поры размером 3–20 мкм. Поры характеризуются неправильной округлой формой, а стенки имеют высокоразвитую поверхность вследствие заполнения ПТФЭ всех рельефных неровностей частиц металла. В результате полученный пористый материал обладает высокой удельной поверхностью.

Методами рентгеноструктурного анализа, термического анализа и инфракрасной спектроскопии исследовали влияние ВН на структуру пористого ПТФЭ. Установлено, что воздействие ВН на ПТФЭ увеличивает долю аморфной части — расширяется площадь аморфного гало на рентгенограмме. Также увеличивается интенсивность основного пика вследствие структурирования макромолекул. ВН приводит к разрыву углеродной цепи ПТФЭ в результате разнонаправленного движения ПТФЭ при прохождении взрывной и отраженных волн. Разрыв углеродных связей в ПТФЭ обуславливает образование макрорадикалов, активно взаимодействующих с молекулами воды, адсорбированными на частицах порошка шихты и присутствующих в воздухе, с образованием С–Н связей. В свою очередь уменьшение длины углеродной цепи ПТФЭ и наличие С–Н связей снижают температуру разложения.

Полученный пористый материал на основе ПТФЭ может найти применение в качестве фильтров для нефтехимического оборудования, лабораторной техники, сепараторов химических источников тока и аккумуляторов.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, мембрана, пористость, взрывное прессование, взрывное нагружение, медь, металлополимерный композит, металлофторопласт.

POLYTETRAFLUOROETHYLENE BASED POROUS MATERIAL

V. M. BUZNIK^{1,3}, N. V. SEVOSTYANOV¹⁺, A. E. ROSEN², O. N. LOGINOV², M. A. HASKOV¹, P. N. MEDVEDEV¹

¹All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials, Radio St., 17, 105005, Moscow, Russian

²Penza State University, Krasnaya St., 40, 440026, Penza, Russia

³Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Leninsky Ave, 65, Moscow, 119991, Russia

Because of high chemical resistance of polytetrafluoroethylene (PTFE), its porous materials are in great demand. The objective of the study is to obtain a PTFE-based porous material by etching a metal component from a metal-polymer material (MPM) obtained with explosive loading (EV), and to establish the ef-

+ Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: kolia-phone@mail.ru

fect of EV on the structure of PTFE.

It has been established that etching the metal component from the MPCM, a porous PTFE skeleton is formed with the resulting porosity of 3–20 μm .

The pores are characterized by an irregular round shape, and the walls have a highly developed surface due to the filling of PTFE of all the relief irregularities of the metal particles. As a result, the porous PTFE material has a high specific surface area.

To establish the effect of HV on the structure of PTFE the X-ray diffraction, thermogravimetric, and infrared spectroscopic (IRS) studies of the porous material were carried out.

It has been established that EV leads to the breaking of the carbon chain of PTFE as a result of multidirectional movement of the polymer during the passage of explosive and reflected waves.

The breaking of carbon bonds in PTFE generates the formation of macroradicals that actively interact with water molecules adsorbed in the particles of batch mixture, and presented in the air, with the formation of C–H bonds.

A decrease in the carbon chain length of PTFE and the presence of C–H bonds reduce the decomposition temperature.

The obtained PTFE-based porous material can be used as filters in chemical equipment, laboratory equipment, separators of chemical current sources and batteries.

Keywords: polytetrafluoroethylene, membrane, porous, explosive pressing, explosive loading, copper, metal-polymer composite, metal-fluor-plastic.

Поступила в редакцию 21.01.2020

© В. М. Бузник, Н. В. Севостьянов, А. Е. Розен, О. Н. Логинов, М. А. Хасков, П. Н. Медведев, 2020

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/>

Образец цитирования:

Бузник В. М., Севостьянов Н. В., Розен А. Е., Логинов О. Н., Хасков М. А., Медведев П. Н. Пористый материал на основе политетрафторэтилена // Полимерные материалы и технологии. 2020. Т. 6, № 3. С. 6–15. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-3-6-15>

Citation sample:

Buznik V. M., Sevost'yanov N. V., Rozen A. E., Loginov O. N., Khaskov M. A., Medvedev P. N. Poristy material na osnove politetraftoretilena [Polytetrafluoroethylene based porous material]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2020, vol. 6, no. 3, pp. 6–15. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-3-6-15>

Литература

1. Каблов Е. Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1. С. 3–33. DOI:10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33
2. Каблов Е. Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. № 2(14). С. 16–21.
3. Buznik V. M., Kablov E. N. Arctic materials science: current state and prospects // Herald of the Russian Academy of Sciences, 2017, vol. 87, no. 5, pp. 397–408.

4. Баскин З. Л., Шабалин Д. А., Выражейкин Е. С., Дедов С. А. Ассортимент, свойства и применение фторполимеров Кирово-Чепецкого химического комбината // Российский химический журнал. 2008. Т. LI, № 3. С. 13–23.
5. Кулагина Г. С., Коробова А. В., Зуев С. В., Железина Г. Ф. Исследование трибологических свойств органопластиков на основе тканого армирующего наполнителя // Труды ВИАМ: электронный научно-технический журнал. 2016. № 11 [Электронный ресурс]. URL: http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/2016_11.pdf (дата обращения: 09.01.2020).
6. Соломенцева А. В., Фадеева В. М., Железина Г. Ф. Антифрикционные органопластики для тяжело нагруженных узлов трения скольжения авиационных конструкций // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 2 (41). С. 30–34. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-30-34
7. Горина А. А., Сыркус Т. Д., Уколова Л. С. Пористые фторопласты. Москва: НИИТЭХИМ, 1975. 81 с. (Обзорная серия: Пластические массы и синтетические смолы).
8. Иванчев С. С., Мякин С. В. Полимерные мембраны для топливных элементов: получение, структура, модифицирование, свойства // Успехи химии. 2010. Т. 79, № 2. С. 117–134.
9. Гракович П. Н., Иванов Л. Ф., Калинин Л. А., Рябченко И. Л., Толстопятов Е. М., Красовский А. М. Лазерная абляция политетрафторэтилена // Российский химический журнал. 2008, Т. LI, № 3. С. 97–105.
10. Васильков А. Ю., Никитин Л. Н., Наумкин А. В., Волков И. О., Бузин М. И., Абрамчук С. С., Бубнов Ю. Н., Толстопятов Е. М., Гракович П. Н., Плескачевский Ю. М. Золото- и серебросодержащий волокнисто-пористый политетрафторэтилен, полученный с использованием лазерного излучения, сверхкритического диоксида углерода и металло-парового синтеза // Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4, № 11–12. С. 128–132.
11. Patent 5234751 US. Porous material of polytetrafluoroethylene and process for producing the same / Akira Harada, Hiroshi Mano. 1993.
12. Patent 5476589 US. Porous PTFE film and a manufacturing method therefor / John Bacino. 1995.
13. Patent 5677031A US. Porous PTFE structures / Andrew Miller Allan, Brian Andrew Barker. 1997.
14. Patent 5910277A US. Process of making a porous PTFE membrane / Toshiaki Ishino, Norikane Nabata, Takuya Maeoka. 1999.
15. Patent 6030428A US. Porous polytetrafluoroethylene membrane, process for producing the same, sheet-form polytetrafluoroethylene molding, and air filter medium / Toshiaki Ishino, Norikane Nabata, Takuya Maeoka. 2000.
16. Patent 7922946B2 US. PTFE membrane / Richard Brandimarte, Kirit Patel. 2011.
17. Patent 1994000511A1 WO. Porous polytetrafluoroethylene and preparation / Edward George Howard, Jr. Arthur Zenker Moss. 1994.
18. Бильдюкевич А. В., Ермолинская Т. М., Фенько Л. А. Получение пористых проницаемых структур из фторполимеров // Химия и технология новых веществ и материалов: сборник научных трудов: вып. 2. Минск: Белорусская наука, 2012. С. 51–105.
19. Адаменко Н. А., Казуров А. В., Кирилин А. С. Исследование влияния интенсивности взрывного воздействия на термическое объемное расширение композиционных материалов на основе политетрафторэтилена // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. № 5(78). С. 58–61.
20. Зверев Г. К. Материалы на основе политетрафторэтилена, полученные методами взрывного прессования и деструкции в плазме высоковольтного импульсного разряда: автореферат дис. канд. хим. наук: 02.00.04. Владивосток, 2016. 25 с.
21. Севостьянов Н. В., Розен А. Е., Бузник В. М., Логинов О. Н., Усатый С. Г., Болсуновская Т. А. Медно-фторопластовый токопроводящий композиционный материал, полученный взрывным прессованием // Трение и износ. 2020. Т. 41, № 1. С. 55–62.
22. Миркин Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М.: Физматгиз, 1961. 863 с.
23. Калистратова Л. Ф., Зайнуллина Л. В. Сравнительный анализ толщины деформированного поверхностного слоя композитов двойных систем ПТФЭ с волокнистым и дисперсным наполнителями // Актуальные проблемы современной науки: материалы VIII региональной научно-практической конференции с международным участием (Омск, 26 апреля 2019 года). Омск, 2019. С. 27–32.
24. Sperati C. A., Starkweather H. W. Fluorine-containing polymers. II. Polytetrafluoroethylene // Fortschritte Der Hochpolymeren-Forschung. Berlin; Heidelberg: Springer, 1961, pp. 465–495.
25. Ignatieva L. N., Zverev G. A., Adamenko N. A., Kazurov A., Sergeev I. V., Ustinov A. Yu., Tkachenko I. A., Bouznic V. M. Peculiarities of the structure of copper- and nickel-fluoropolymer composites fabricated by explosive pressing // J. Fluorine Chem., 2015, vol. 172, pp. 68–73. doi:10.1016/j.jfluchem.2015.02.002
26. Нефедов Н. И., Хасков М. А., Петрова А. П., Бузник В. М. Исследование термических свойств фторпарафинов и гидрофобных покрытий на их основе // Труды ВИАМ: электрон. научно-технический журнал. 2017. № 2 [Электронный ресурс]. URL: http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/2017_2.pdf (дата обращения: 09.01.2020).
27. Горяинова А. В., Божков Г. К., Тихонова М. С. Фторопласты в машиностроении. М.: Машиностроение, 1971. 233 с.
28. Паншин Ю. А., Малкевич С. Г., Дунаевская Ц. С. Фторопласты. Л.: Химия, 1978. 117 с.
29. Берштейн В. А., Егоров В. М. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров. Л.: Химия, 1990. 256 с.
30. Машков Ю. К., Овчар З. Н., Суриков В. И., Калистратова Л. Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение, 2005. 240 с.
31. Bin Feng, Xiang Fang, Huai-Xi Wang, Wen Dong, Yu-Chun Li. The effect of crystallinity on compressive properties of Al-PTFE // Polymers, 2016, vol. 8, is. 10, pp. 356. doi: 10.3390/polym8100356
32. Игнатьева Л. Н., Адаменко Н. А., Агафонова Г. В., Герасимук А. Э., Курявый В. Г., Зверев Г. А., Меркулов Е. Б., Устинов А. Ю., Бузник В. М. Влияние взрывной обработки на строение и свойства политетрафторэтилена // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2013. № 5. С. 44–52.
33. Игнатьева Л. Н., Адаменко Н. А., Казуров А. В., Курявый В. Г., Зверев Г. А., Меркулов Е. Б., Слободюк А. Б., Бузник В. М. Влияние взрывной обработки на строение и свойства ультрадисперсного политетрафторэтилена // Перспективные материалы. 2013. № 3. С. 63–70.
34. Howard W., Starkweather Jr., Paul Zoller, Glover A. Jones, Alexander J. Vega. The heat of fusion of polytetrafluoroethylene // Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition, 1982, vol. 20, is. 4, pp. 751–761.
35. Милинчук В. К., Клишпонт Э. Р., Пшежецкий С. Я. Макрорадикалы. М.: Химия, 1980. 263 с.
36. Дехант И., Дац Р., Киммер В., Шмольке Р. Инфракрасная спектроскопия полимеров. М.: Химия, 1976. 472 с.
37. Инфракрасные спектры поглощения полимеров и вспомогательных веществ / под ред. В. М. Чулановского. Л.: Химия, 1969. 356 с.
38. Liang C. Y., Krimm S. Infrared Spectra of High Polymers. III. Polytetrafluoroethylene and Polychlorotrifluoroethylene // The Journal of Chemical Physics, 1956, vol. 25, no. 3, pp. 563–571.
39. Купцов А. Х., Жижин Г. Н. Фурье-спектры комбинированного рассеяния и инфракрасного поглощения полимеров: справочник. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 656 с.

References

1. Kablov E. N. Innovatsionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNTs RF po realizatsii «Strategicheskikh napravleniy razvitiya materialov i tekhnologiy ikh pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative developments of FSUE “VIAM” SSC RF on the implementation of

- “Strategic directions for the development of materials and technologies for their processing for the period until 2030). *Aviatsionnye materialy i tekhnologii* [Aviation Materials and Technologies], 2015, no. 1, pp. 3–33. doi:10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33
2. Kablov E. N. Materialy novogo pokoleniya – osnova innovatsiy, tekhnologicheskogo liderstva i natsional'noy bezopasnosti Rossii [Materials of a new generation – the basis of innovation, technological leadership and national security of Russia]. *Intellect i tekhnologii* [INTEL & TECH], 2016, no. 2(14), pp. 16–21.
 3. Buznik V. M., Kablov E. N. Arctic materials science: current state and prospects. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2017, vol. 87, no. 5, pp. 397–408.
 4. Baskin Z. L., Shabalin D. A., Vyrzheykin E. S., Dedov S. A. Assortiment, svoystva i primeneniye ftoropolimerov Kirovo-Chepetskogo khimicheskogo kombinata [Assortment, properties and application of fluoropolymers of the Kirov-Chepetsk Chemical Plant]. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal* [Russian Journal of General Chemistry], 2008, vol. LII, no. 3, pp. 13–23.
 5. Kulagina G. S., Korobova A. V., Zuev S. V., Zhelezina G. F. Issledovanie tribologicheskikh svoystv organoplastikov na osnove tkanogo armiruyushchego napolnitelya [The study of the tribological properties of organoplastics based on woven reinforcing filler]. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2016, no. 11. Available at: http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/2016_11.pdf (accessed 09.01.2020).
 6. Solomentseva A. V., Fadeeva V. M., Zhelezina G. F. Antifriktsionnye organoplastiki dlya tyazhelonagruzhennykh uzlov treniya skol'zheniya aviatsionnykh konstruktov [Anti-friction organoplastics for heavily loaded sliding friction units of aircraft structures]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii* [Aviation Materials and Technologies], 2016, no. 2(41), pp. 30–34. doi: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-30-34
 7. Gorina A. A., Syrkus T. D., Ukolova L. S. *Poristyye ftoroplasty* [Porous Fluoroplastics]. Moscow: NIITEKhIM Publ., 1975. 81 p.
 8. Ivanchev S. S., Myakin S. V. Polimernye membrany dlya toplivnykh elementov: poluchenie, struktura, modifikatsiya, svoystva [Polymer membranes for fuel cells: production, structure, modification, properties]. *Uspekhi khimii* [Russian Chemical Reviews], 2010, vol. 79, no. 2, pp. 118–134.
 9. Grakovich P. N., Ivanov L. F., Kalinin L. A., Ryabchenko I. L., Tolstopyatov E. M., Krasovskiy A. M. Lazernaya ablyatsiya politetraforetilena [Laser ablation of polytetrafluoroethylene]. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal* [Russian Journal of General Chemistry], 2008, vol. LII, no. 3, pp. 97–105.
 10. Vasil'kov A. Yu., Nikitin L. N., Naumkin A. V., Volkov I. O., Buzin M. I., Abramchuk S. S., Bubnov Yu. N., Tolstopyatov E. M., Grakovich P. N., Pleskachevskiy Yu. M. Zoloto- i serebrosoderzhashchiy voloknisto-poristy polytetraforetilen, poluchenny s ispol'zovaniem lazernogo izlucheniya, sverkhkriticheskogo dioksidaugleroda i metallo-parovogo sinteza [Gold- and silver-containing fiber-porous polytetrafluoroethylene obtained using laser radiation, supercritical carbon dioxide and metal vapor synthesis]. *Rossiyskie nanotekhnologii* [Nanotechnologies in Russia], 2009, vol. 4, no. 11–12, pp. 128–132.
 11. Akira Harada, Hiroshi Mano. Porous material of polytetrafluoroethylene and process for producing the same. Patent US, no. 5234751, 1993.
 12. Bacino John. Porous PTFE film and a manufacturing method therefor. Patent US, no. 5476589, 1995.
 13. Andrew Miller Allan, Brian Andrew Barker. Porous PTFE structures. Patent US, no. 5677031A, 1997.
 14. Toshiaki Ishino, Norikane Nabata, Takuya Maeoka. Process of making a porous PTFE membrane. Patent US, no. 5910277A, 1999.
 15. Toshiaki Ishino, Norikane Nabata, Takuya Maeoka. Porous polytetrafluoroethylene membrane, process for producing the same, sheet-form polytetrafluoroethylene molding, and air filter medium. Patent US, no. 6030428A, 2000.
 16. Richard Brandimarte, Kirit Patel. PTFE membrane. Patent US, no. 7922946B2, 2011.
 17. Howard Edward George, Jr. Arthur Zenker Moss. Porous polytetrafluoroethylene and preparation Patent WO, no. 1994000511A1, 1994.
 18. Bil'dyukevich A. V., Ermolinskaya T. M., Fen'ko L. A. Poluchenie poristykh pronitsaemykh struktur iz ftoropolimerov [Obtaining porous permeable structures from fluoropolymers]. *Khimiya i tekhnologiya novykh veshchestv i materialov: sbornik nauchnykh trudov* [Chemistry and technology of new substances and materials: collection of scientific papers]. Minsk: Belorusskaya nauka Publ., 2012, is. 2, pp. 51–105.
 19. Adamenko N. A., Kazurov A. V., Kirilin A. S. Issledovanie vliyaniya intensivnosti vzryvnogo vozdeystviyana termicheskoe ob'emnoe rasshirenije kompozitsionnykh materialov na osnove politetraforetilena [Study of the effect of the intensity of explosive effects on the thermal volume expansion of composite materials based on polytetrafluoroethylene]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Volgograd State Technical University], 2011, no. 5(78), pp. 58–61.
 20. Zverev G. K. Materialy na osnove politetraforetilena, poluchennye metodami vzryvnogo pressovaniya i destruktivnoy plazmy v vysokovol'tnogo impul'snogo razryada. Avtoreferat diss. kand. khim. nauk [Polytetrafluoroethylene-based materials obtained by explosive pressing and destruction in a high voltage pulse discharge plasma. PhD chemical sci. abstract diss.]. Vladivostok, 2016. 25 p.
 21. Sevost'yanov N. V., Rozen A. E., Buznik V. M., Loginov O. N., Usaty S. G., Bolsunovskaya T. A. Medno-ftoroplastovyy tokoprovodnyy kompozitsionnyy material, poluchenny vzryvnym pressovaniem [Copper-Fluoroplastic Composite Material Obtained by Explosive Pressing]. *Trenie i iznos* [Friction and Wear], 2020, vol. 41, no. 1, pp. 55–62.
 22. Mirkin L. I. *Spravochnik po rentgenostrukturnomu analizu polikristallov* [Polycrystal X-ray Analysis Handbook]. Moscow: Fizmatgiz Publ., 1961. 863 p.
 23. Kalistratova L. F., Zaynullina L. V. Sravnitel'nyy analiz tolshchiny deformirovannogo poverkhnostnogo sloya kompozitov dvoynykh sistem PTFE s voloknistymi i dispersnymi napolnitelyami [Comparative analysis of the thickness of the deformed surface layer of composites of dual PTFE systems with fibrous and dispersed fillers]. *Materialy VIII regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Aktual'nye problemy sovremennoy nauki»* [Materials of the VIII regional scientific-practical conference with international participation “Actual problems of modern science”]. Omsk, 2019, pp. 27–32.
 24. Sperati C. A., Starkweather H. W. Fluorine-containing polymers. II. Polytetrafluoroethylene. *Fortschritte Der Hochpolymeren-Forschung*. Berlin; Heidelberg: Springer, 1961, pp. 465–495.
 25. Ignatieva L. N., Zverev G. A., Adamenko N. A., Kazurov A., Sergeev I. V., Ustinov A. Yu., Tkachenko I. A., Bouznic V. M. Peculiarities of the structure of copper- and nickel-fluoropolymer composites fabricated by explosive pressing. *J. Fluorine Chem.*, 2015, vol. 172, pp. 68–73. doi:10.1016/j.jfluchem.2015.02.002
 26. Nefedov N. I., Khaskov M. A., Petrova A. P., Buznik V. M. Issledovanie termicheskikh svoystv ftoroparaffinov i gidrofobnykh pokrytiy na ikh osnove [Study of the thermal properties of fluoroparaffins and hydrophobic coatings based on them]. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2017, no. 2. Available at: http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/2017_2.pdf (accessed 09.01.2020).
 27. Goryainova A. V., Bozhkov G. K., Tikhonova M. S. *Ftoroplasty v mashinostroenii* [Fluoroplastics in mechanical engineering]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1971. 233 p.
 28. Panshin Yu. A., Malkevich S. G., Dunaevskaya Ts. S. *Ftoroplasty* [Fluoroplastics]. Leningrad: Khimiya Publ., 1978. 117 p.
 29. Bershteyn V. A., Egorov V. M. *Differentsial'naya skaniruyushchaya kalorimetriya v fizikokhimiya polimerov* [Differential scanning calorimetry in the physical chemistry of polymers]. Leningrad: Khimiya Publ., 1990. 256 p.
 30. Mashkov Yu. K., Ovchar Z. N., Surikov V. I., Kalistratova L. F. *Kompozitsionnye materialy na osnove politetraforetilena. Strukturnaya modifikatsiya* [Polytetrafluoroethylene Composite Materials. Structural modification]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2005. 240 p.
 31. Bin Feng, Xiang Fang, Huai-Xi Wang, Wen Dong, Yu-Chun Li. The effect of crystallinity on compressive properties of Al-PTFE. *Polymers*, 2016, vol. 8, is. 10, pp. 356. doi: 10.3390/polym8100356
 32. Ignat'eva L. N., Adamenko N. A., Agafonova G. V., Gerasimuk A. E., Kuryavy V. G., Zverev G. A., Merkulov E. B., Ustinov A. Yu., Buznik V.

- M. Vliyanie vzryvnoy obrabotki na stroenie i svoystva politetraforetilena [The effect of blasting on the structure and properties of polytetrafluoroethylene]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Far Eastern branch of the Russian academy of sciences], 2013, no. 5, pp. 44 – 52.
33. Ignat'eva L. N., Adamenko N. A., Kazurov A. V., Kuryavyy V. G., Zverev G. A., Merkulov E. B., Slobodyuk A. B., Buznik V. M. Vliyanie vzryvnoy obrabotki na stroenie i svoystva ul'tradispersnogo politetraforetilena [The effect of explosive processing on the structure and properties of ultrafine polytetrafluoroethylene]. *Perspektivnye materialy* [Journal of Advanced Materials], 2013, no. 3, pp. 63–70.
34. Howard W. Starkweather Jr., Paul Zoller, Glover A. Jones, Alexander J. Vega. The heat of fusion of polytetrafluoroethylene. *Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition*, 1982, vol. 20, is. 4, pp. 751–761.
35. Milinchuk V. K., Klinshpont E. R., Pshezhetskiy S. Ya. *Makroradikaly* [Macroradicals]. Moscow: Khimiya Publ., 1980. 263 p.
36. Dekhant I., Dants R., Kimmer V., Shmol'ke R. *Infrakrasnaya spektroskopiya polimerov* [Infrared polymer spectroscopy]. Moscow: Khimiya Publ., 1976. 472 p.
37. *Infrakrasnye spektry pogloshcheniya polimerov i vspomogatel'nykh veshchestv* [Infrared absorption spectra of polymers and excipients]. Ed. V. M. Chulanovskiy. Leningrad: Khimiya Publ., 1969. 356 p.
38. Liang C. Y., Krimm S. Infrared Spectra of High Polymers. III. Polytetrafluoroethylene and Polychlorotrifluoroethylene. *The Journal of Chemical Physics*, 1956, vol. 25, no. 3, pp. 563–571.
39. Kuptsov A. Kh., Zhizhin G. N. Fur'e-spektry kombinirovannogo rasseyaniya i infrakrasnogo pogloshcheniya polimerov [Fourier spectra of combined scattering and infrared absorption of polymers]. Moscow: FIZMATLIT Publ., 2001. 656 p.
-