

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-1-60-70>

УДК 678.8:678.046:530.145

РОЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ФАКТОРА В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

С. В. АВДЕЙЧИК^{1,2}, В. А. СТРУК², А. С. АНТОНОВ², В. А. ГОЛЬДАДЕ^{3,4+}

¹ООО «Молдер», Скидельское шоссе, 18-1, 230003, г. Гродно, Беларусь

²Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Беларусь

³Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

⁴Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь

Рассмотрены предпосылки формирования особого энергетического состояния компонентов полимерных композитов, обеспечивающего достижение повышенных деформационно-прочностных, триботехнических и адгезионных характеристик композиционных материалов и изделий на основе полимерных, олигомерных и смесевых матриц. Предложен принцип энергетического и технологического соответствия компонентов, под которым понимается возможность достижения совокупного энергетического состояния, которое соответствует энергии активации преобладающего физико-химического процесса, обеспечивающего формирование оптимальной структуры межфазного слоя в композитах. Рассмотрены практические направления реализации энергетического подхода при разработке наноконпозиционных полимерных материалов, нашедших применение в промышленности.

Ключевые слова: компонент, композиционный материал, структура, энергия активации, наносостояние, энергетическое состояние.

ENERGY FACTOR IN TECHNOLOGY OF POLYMERIC COMPOSITES

S. V. AVDEYCHIK^{1,2}, V. A. STRUK², A. S. ANTONOV², V. A. GOLDADE^{3,4+}

¹LLC Molder, Skidelskoe shosse, 18-1, 230003, Grodno, Belarus

²Yanka Kupala State University of Grodno, Ozheshko St., 22, 230023, Grodno, Belarus

³V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

⁴Francisk Skorina Gomel State University, Sovetskaya St., 104, 246019, Gomel, Belarus

The prerequisites for the formation of a special energy state of the components, increasing the parameters of deformation-strength, tribotechnical and adhesive characteristics of products from composite materials based on polymer, oligomeric and mixed matrices, are considered. The principle of energy and technological correspondence of components is proposed, which is understood as the possibility of achieving an overall energy state, which corresponds to the activation energy of the prevailing physicochemical process, which ensures the formation of the optimal structure of the interphase layer in composites. The practical implementation in the development of nanocomposite materials that have found application in industry are considered.

Keywords: component, composite material, structure, activation energy, nanostate, energy state.

Поступила в редакцию 02.02.2021

© С. В. Авдейчик, В. А. Струк, А. С. Антонов, В. А. Гольдаде, 2020

+ Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: victor.goldade@gmail.com

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:

Авдейчик С. В., Струк В. А., Антонов А. С., Гольдаде В. А. Роль энергетического фактора в технологии полимерных композитов // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 1. С. 60–70. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-1-60-70>

Citation sample:

Avdeychik S. V., Struk V. A., Antonov A. S., Gol'dade V. A. Rol' energeticheskogo faktora v tekhnologii polimernykh kompozitov [Energy factor in technology of polymeric composites]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 1, pp. 60–70. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-1-60-70>

Литература

- Елисеев А. А., Лукашин А. В. Функциональные наноматериалы / под ред. Ю. Д. Третьякова. М.: Физматлит, 2010. 456 с.
- Авдейчик С. В., Афонин А. Н., Воропаев В. В., Иванов В. П., Киричек А. В., Лиопо В. А., Михайлова Л. В., Морозова А. В., Овчинников Е. В., Рыскулов А. А., Скаскевич А. А., Струк В. А., Эйсымонт Е. И. Прогрессивные машиностроительные технологии: монография: т. II. / под ред. А. В. Киричека. М.: Спектр, 2012. 336 с.
- Наноструктурные материалы–2008: Беларусь–Россия–Украина (НАНО–2008): материалы Первой международной научной конференции, Минск, 22—25 апреля 2008 г. / редкол.: П. А. Витязь (председатель) [и др.]. Минск: Белорусская наука, 2008. 765 с.
- Охлопкова А. А. Физико-химические принципы создания триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена и ультрадисперсных керамик: дис. д-ра техн. наук: 05.02.01; 05.02.04. Якутск, 2000. 269 с.
- Авдейчик С. В., Воропаев В. В., Скаскевич А. А., Струк В. А. Машиностроительные фторкомпозиты: структура, технология, применение / под ред. В. А. Струка. Гродно: ГрГУ, 2012. 339 с.
- Рогачев А. А. Функциональные наноразмерные композиционные покрытия на основе продуктов электронно-лучевого диспергирования полимеров: дис. д-ра техн. наук: 05.16.08. Минск, 2016. 278 с.
- Кравцов А. Г. Электрические и магнитные поля в полимерных волокнистых фильтроэлементах для тонкой очистки многофазных сред: дис. д-ра техн. наук: 01.04.07. Гомель, 2007. 321 с.
- Песецкий С. С., Богданович С. П., Мышкин Н. К. Нанокompозиты, получаемые диспергированием слоистых силикатов в расплавах полимеров (обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2015. Т. 1, № 1. С. 7–37.
- Джейкок М., Парфит Дж. Химия поверхностей раздела фаз: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 269 с.
- Липатов Ю. С. Физико-химические основы наполнения полимеров. М.: Химия, 1991. 260 с.
- Ролдугин В. И. Самоорганизация наночастиц на межфазных поверхностях // Успехи химии. 2004. Т. 73, № 2. С. 123–156.
- Гольдаде В. А., Струк В. А., Песецкий С. С. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем. М.: Химия, 1993. 240 с.
- Хайнике Г. Трибохимия: пер. с англ. М.: Мир, 1987. 584 с.
- Белый В. А., Егоренков Н. И., Плескачевский Ю. М. Адгезия полимеров к металлам. Минск: Наука и техника, 1976. 228 с.
- Крагельский И. В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
- Плескачевский Ю. М. О некоторых аналогиях фрикционного динамического и адгезионного статического контактирования металла с термопластичным полимером // Трение и износ. 1983. Т. 4, № 5. С. 948–951.
- Веймарн П. П. К учению о состоянии материи (основания кристаллизационной теории необратимых процессов). СПб, 1910. 188 с.
- Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2007. 416 с.
- Ajayan P. M., Schadler L. S., Braun A. V. Nanocomposite science and technology. NY: Wiley, 2004. 230 p.
- Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии: пер. с англ. М.: Техносфера, 2005. 334 с.
- Киреев В. Нанотехнологии: история возникновения и развития // Наноиндустрия. 2008. № 2. С. 2–10.
- Витязь П. А., Свидуневич Н. А., Куис Д. В. Наноматериаловедение. Минск: Вышэйшая школа, 2015. 511 с.
- Бучаченко А. Л. Нанохимия – прямой путь к высоким технологиям нового века // Успехи химии. 2003. Т. 72, № 5. С. 419–437.
- Киреев В. Ю., Врублевский Э. М., Недзвецкий В. С., Сосновцев В. В. Философские, физические и химические аспекты объектов и методов нанотехнологий // Информация и инновации. 2010. Спец. вып. С. 2–90.
- Вигдорович В. И., Цыганкова Л. Е., Осетров А. Ю. Наносостояние вещества как основа реакционной способности наноматериалов // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2011. Т. 47, № 3. С. 330–336.
- Лиопо В. А. Размерная граница между нано- и объемным состоянием: теория и эксперимент // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 2: Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. 2007. № 2. С. 65–71.
- Эпштейн Э. М. Дебая теория // Физическая энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 1. С. 573–574.

28. Гольдаде В. А., Зотов С. В., Шаповалов В. М., Юдин В. Е. Электретный эффект в полимерных нанокompозитах (Обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 6–18.
29. Авдейчик С. В., Лиопо В. А., Струк В. А., Прушак В. Я., Щерба В. Я. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение / под ред. В. А. Струка, В. А. Щербы. Минск : Техналогія, 2007. 431 с.
30. Дистлер Г. И., Власов В. П., Герасимов Ю. М., Кобзарева С. А., Кортукова Е. И., Лебедева В. И., Москвин В. В., Шенявская Л. А. Декорирование поверхности твердых тел. М. : Наука, 1976. 112 с.
31. Белый В. А., Егоренков Н. И., Плескачевский Ю. М. Явление растворения металлов расплавами полимерных покрытий // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 1970. Т. 12, № 9. С. 643–644.
32. Гаркунов, Д. Н. Триботехника. М. : Машиностроение, 1985. 424 с.
33. Mironov V. S. Triboelectret state of polymer composites // Proceedings of the 7th International Symposium on Electrets (ISE-7). Berlin, 1991, pp. 310–315.
34. Аввакумов Е. Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск : Наука, 1979. 259 с.
35. Григорьева Т. Ф., Барнинова А. П., Ляхов Н. З. Механохимический синтез в металлических системах / отв. ред. Е. Г. Аввакумов. Новосибирск : ИХТТМ СО РАН, 2008. 311 с.
36. Хинт Й. А. УДА-технология: проблемы и перспективы. Таллин : Валгус, 1981. 36 с.
37. Авдейчик С. В., Сорокин В. Г., Антонов А. С. Особенности реализации наноразмерности в композитах на основе полимерной матрицы // Наноматериалы и наноструктуры – XXI век. 2016. Т. 7, № 2. С. 37–44.
38. Патент 16768 РБ, МПК C08L 27/18, C08K 3/04, C08K 3/10. Композиционный триботехнический материал / О. В. Авдейчик, В. А. Струк, М. В. Ищенко, Р. В. Ищенко, А. С. Прушак, А. В. Конопляник, В. В. Барсуков; заявитель и патентообладатель ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством». № а 20110768; заявл. 03.06.2011; опубл. 28.02.2013, Бюл. № 1. С. 88.
39. Патент 2268273 РФ, МПК C08J 5/16, C10M 171/06, C10M 107/38. Композиционный термостойкий триботехнический материал / В. А. Струк, В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, С. В. Авдейчик; заявитель и патентообладатель ОАО «Белкард». № 2004126475/04; заявл. 31.08.2004; опубл. 20.01.2006, Бюл. № 2.
40. Патент 2276677 РФ, МПК C08L 23/12, C08K 9/00. Композиционный термопластичный материал / В. А. Струк, В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, С. В. Авдейчик, С. В. Ратобильский, А. Ф. Мануленко, О. С. Смугага; заявитель и патентообладатель ОАО «Белкард», ООО «Техполимер». № 2004123043/04; заявл. 27.07.2004; опубл. 20.05.2006, Бюл. № 14.
41. Патент 2338764 РФ, МПК C09D 5/03, C09D 177/02. Состав композиционного полимерного материала для функционального покрытия и способ его нанесения / В. А. Струк, В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, С. В. Авдейчик, Е. В. Овчинников, В. Л. Басинюк, И. И. Герасимчик, И. А. Шкурский, Е. И. Мардосевич; заявитель и патентообладатель ОАО «Белкард». № 2006129951/04; заявл. 18.08.2006; опубл. 20.11.2008, Бюл. № 32.
42. Патент 2321603 РФ, МПК C08J 3/12, B29B 9/00. Способ изготовления изделий из полимерных термопластичных материалов / В. А. Струк, В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, С. В. Авдейчик, Л. С. Белый, Е. В. Овчинников, В. А. Лиопо; заявитель и патентообладатель ОАО «Белкард». № 2006122775/12; заявл. 26.06.2006; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 10.
43. Патент 2283325 РФ, МПК C08L 23/02. Композиционный термопластичный материал / В. А. Струк, В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, С. В. Авдейчик, А. А. Скаскевич, А. В. Чекель; заявитель и патентообладатель ОАО «Белкард», РУП «Белворполимер». № 2004123804/04; заявл. 03.08.2004; опубл. 10.09.2006, Бюл. № 25.
44. Патент 2332525 РФ, МПК C23C 24/04, C09D 5/08, C09D 5/03, C08K 3/34, C09D 177/00, C09D 123/06, C09D 167/02. Способ формирования композиционного покрытия из силикатполимерного материала / В. А. Струк, В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, С. В. Авдейчик, Е. В. Овчинников, В. А. Лиопо, В. В. Клецко, М. А. Белоцерковский; заявитель и патентообладатель ОАО «Белкард». № 2006139866/04; заявл. 10.11.2006; опубл. 27.08.2008, Бюл. № 24.
45. Патент 22316 РБ, МПК C08K 9/02, C08K 9/04, C08K 3/34. Способ получения наномодификатора для полимерных материалов / А. С. Антонов, В. А. Струк, С. В. Авдейчик, А. С. Воронцов; заявитель и патентообладатель ГрГУ им. Янки Купалы. № а 20160410; заявл. 14.11.2016; опубл. 30.12.2018, Бюл. № 6. С. 69.
46. Патент 10901 РБ, МПК C09C 3/04, B28D 1/00. Способ получения низкоразмерных наполнителей для полимерных материалов / В. А. Струк, В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, С. В. Авдейчик, Е. В. Овчинников, В. А. Лиопо, В. В. Клецко, М. А. Белоцерковский; заявитель и патентообладатель ОАО «Белкард». № а 20061094; заявл. 03.11.2006; опубл. 30.08.2008.
47. Патент 21061 РБ, МПК C08J 5/16, C09K 9/04. Способ получения триботехнического материала на основе полиамида / В. А. Струк, Е. В. Овчинников, Е. И. Эйсымонт, С. В. Авдейчик, В. Я. Щерба, А. П. Разумцев, Ю. В. Мишук; заявитель и патентообладатель ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством». № а 20140294; заявл. 23.05.2014; опубл. 30.06.2017, Бюл. № 3. С. 92–93.
48. Патент 2332524 РФ, МПК C23C 24/04, C09D 5/10, C09D 177/00, C09D 123/06, C09D 167/02. Способ получения металлополимерного покрытия / В. А. Струк, В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, С. В. Авдейчик, Е. В. Овчинников, В. В. Клецко, П. И. Заяш; заявитель и патентообладатель ОАО «Белкард». № 2006139863/04; заявл. 10.11.2006; опубл. 27.08.2008, Бюл. № 24.
49. Заявка а 20121815 РБ, МПК C10M 169/06. Пластичная смазка / В. А. Струк, С. В. Авдейчик, Е. В. Овчинников, Е. И. Эйсымонт, В. И. Кравченко; заявитель ГрГУ им. Янки Купалы. Заявл. 08.09.2014; опубл. 30.04.2016, Бюл. № 4, С. 23.
50. Патент 18073 РБ, МПК C10M 161/00. Состав композиционного смазочного материала / В. А. Струк, С. В. Авдейчик, Е. В. Овчинников, Г. А. Костюкович, В. И. Кравченко; заявитель и патентообладатель ГрГУ им. Янки Купалы. № а 20120621; заявл. 16.04.2012; опубл. 30.04.2014, Бюл. № 2, С. 86.

References

1. Yeliseyev A. A., Lukashin A. V. *Funktsional'nyye nanomaterialy* [Functional nanomaterials]. Ed. Yu. D. Tretyakov. Moscow : Fizmatlit Publ., 2010. 456 p.
2. Avdeychik S. V., Afonin A. N., Voropaev V. V., Ivanov V. P., Kirichek A. V., Liopo V. A., Mikhaylova L. V., Morozova A. V., Ovchinnikov E. V., Ryskulov A. A., Skaskevich A. A., Struk V. A., Eysymont E. I. *Progressivnyye mashinostroitel'nye tekhnologii* [Progressive engineering technologies]. Moscow : Spektr Publ., 2012, vol. 2. 336 p.
3. *Materialy Pervoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Nanostrukturumyie materialy–2008: Belarus'–Rossiya–Ukraina (NANO–2008)»* [Materials of the First Intern. scientific. conf. “Nanostructured Materials-2008: Belarus–Russia–Ukraine (NANO–2008)”. Minsk : Belaruskaya Navuka Publ., 2008. 765 p.
4. Okhlopkova A. A. *Fiziko-khimicheskiye printsipy sozdaniya tribotekhnicheskikh materialov na osnove politetraftoretilena i ul'tradispersnykh keramik*. Diss. dokt. tech. nauk [Physicochemical principles of creating tribological materials based on polytetrafluoroethylene and ultradispersed ceramics. Dr. eng. sci. diss.]. Yakutsk, 2000. 269 p.
5. Avdeychik S. V., Voropayev V. V., Skaskevich A. A., Struk V. A. *Mashinostroitel'nyye ftorkompozity: struktura, tekhnologiya, primeneniye* [Machine-building fluorine composites: structure, technology, application]. Ed. V. A. Struk. Grodno : GrGU Publ., 2012. 339 p.
6. Rogachev A. A. *Funktsional'nyye nanorazmemyie kompozitsionnyye pokrytiya na osnove produktov elektronno-luchevogo dispergirovaniya polimerov*.

- Diss. dokt. tech. nauk [Functional nanosized composite coatings based on the products of electron-beam dispersion of polymers. Dr. eng. sci. diss.]. Minsk, 2016. 278 p.
7. Kravtsov A. G. Elektricheskiye i magnitnyye polya v polimernykh voloknistykh fil'troelementakh dlya tonkoy ochestki mnogofaznykh sred. Diss. dokt. tech. nauk [Electric and magnetic fields in polymeric fibrous filter elements for fine cleaning of multiphase media. Dr. eng. sci. diss.]. Gomel', 2007. 321 p.
 8. Pesetskii S. S., Bogdanovich S. P., Myshkin N. K. Nanokompozity, poluchayemye dispergirovaniyem sloistykh silikatov v rasplavakh polimerov (obzor) [Nanocomposites obtained by dispersing layered silicates in polymer melts (review)]. *Polymer materials and technologies*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 7–37.
 9. Dzheykok M., Parfit Dzh. *Khimiya poverkhnostey razdela faz* [Chemistry of phase interfaces]. Moscow : Mir Publ., 1984. 269 p.
 10. Lipatov Yu. S. *Fiziko-khimicheskiye osnovy napolneniya polimerov* [Physico-chemical foundations of polymer filling]. Moscow : Khimiya Publ., 1991. 260 p.
 11. Roldugin V. I. Samoorganizatsiya nanochastits na mezhfaznykh poverkhnostyakh [Self-organization of nanoparticles on interfacial surfaces]. *Uspekhi khimii* [Russian Chemical Reviews], 2004, vol. 73, no. 2, pp. 123–156.
 12. Gol'dade V. A., Struk V. A., Pesetskii S. S. *Ingibitory iznashivaniya metallopolimernykh sistem* [Inhibitors of wear of metal-polymer systems]. Moscow : Khimiya Publ., 1993. 240 p.
 13. Khaynike G. *Tribokhimiya* [Tribotechnology]. Moscow : Mir Publ., 1987. 584 p.
 14. Belyy V. A., Egorenkov N. I., Pleskachevskiy Yu. M. *Adgeziya polimerov k metallam* [Adhesion of polymers to metals]. Minsk : Nauka i tekhnika Publ., 1976. 228 p.
 15. Kragel'skiy I. V. *Treniye i iznos* [Friction and wear]. Moscow : Mashinostroenie Publ., 1968. 480 p.
 16. Pleskachevskiy Yu. M. O nekotorykh analogiyakh friktsionnogo dinamicheskogo i adgezionnogo staticheskogo kontaktirovaniya metalla s termoplastichnym polimerom [About some analogies of dynamic frictional and adhesive static contact of metal with a thermoplastic polymer]. *Trenie i iznos* [Friction and Wear], 1983, vol. 4, no. 5, pp. 948–951.
 17. Veyman P. P. *K ucheniyu o sostoyanii materii (osnovaniya kristallizatsionnoy teorii neobratimyykh protsessov)* [To the doctrine of the state of matter (the foundations of the crystallization theory of irreversible processes)]. Saint-Petersburg, 1910. 188 p.
 18. Gusev A. I. *Nanomaterialy, nanostrukturny, nanotekhnologii* [Nanomaterials, nanostructures, nanotechnologies]. Moscow : Fizmatlit Publ., 2007. 416 p.
 19. Ajayan P. M., Schadler L. S., Braun A. V. *Nanocomposite science and technology*. NY : Wiley Publ., 2004. 230 p.
 20. Pul Ch., Ouens F. *Nanotekhnologii* [Nanotechnology]. Moscow: Tekhnosfera Publ., 2005. 334 p.
 21. Kireyev V. Nanotekhnologii: istoriya vozniknoveniya i razvitiya [Nanotechnology: history of origin and development]. *Nanoindustriya* [Nanoindustry], 2008, no. 2, pp. 2–10.
 22. Vityaz' P. A., Svidunovich N. A., Kuis D. V. *Nanomaterialovedenie* [Nanomaterials science]. Minsk : Vysheyschaya shkola Publ., 2015. 511 p.
 23. Buchachenko A. L. Nanokhimiya — pryamoy put' k vysokim tekhnologiyam novogo veka [Nanochemistry — a direct path to high technologies of the new century]. *Uspekhi khimii* [Russian Chemical Reviews], 2003, vol. 72, no. 5, pp. 419–437.
 24. Kireyev V. Yu., Vrublevskiy E. M., Nedzvetskiy V. S., Sosnovtsev V. V. Filosofskie, fizicheskiye i khimicheskiye aspekty ob'yektov i metodov nanotekhnologii [Philosophical, physical and chemical aspects of objects and methods of nanotechnology]. *Information and Innovations*, 2010, spec. is., pp. 2–90.
 25. Vigdorovich V. I., Tsygankova L. E., Osetrov A. Yu. Nanosostoyanie veshchestva kak osnova reaktivnoy sposobnosti nanomaterialov [Nanostate of Compound as Basis for Nanomaterial Reactivity]. *Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov* [Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces], 2011, vol. 47, no. 3, pp. 410–415.
 26. Liopo V. A. Razmernaya granitsa mezhdu nano- i ob'emnym sostoyaniem: teoriya i eksperiment [Dimensional boundary between nano- and bulk state: theory and experiment]. *Vesnik GrDU imya Yanki Kupaly. Ser. 2: Matematyka. Fizika. Infarmatyka, vylichal'naya tekhnika i kiravanne* [Bulletin of the Yanka Kupala State University of Grodno. Ser. 2: Mathematics. Physics. Computer science, computing and management], 2007, no. 2, pp. 65–71.
 27. Epshteyn E. M. Debaya teoriya [Debye theory]. *Fizicheskaya entsiklopediya* [Physical encyclopedia]. Ed. A. M. Prokhorov. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1988, vol. 1, pp. 573–574.
 28. Gol'dade V. A., Zotov S. V., Shapovalov V. M., Yudin V. Ye. Elektretnyy effekt v polimernykh nanokompozitakh (Obzor) [Electret effect in polymer nanocomposites (Review)]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2019, vol. 5, no. 2, pp. 6–18.
 29. Avdeychik S. V., Liopo V. A., Struk V. A., Prushak V. Ya., Shcherba V. Ya. *Polimer-silikatnye mashinostroitel'nye materialy: fiziko-khimiya, tekhnologiya, primenenie* [Polymer-silicate engineering materials: physical chemistry, technology, application]. Eds. V. A. Struk, V. A. Shcherba. Minsk : Tekhnologiya Publ., 2007. 431 p.
 30. Distler G. I., Vlasov V. P., Gerasimov Yu. M., Kobzareva S. A., Kortukova E. I., Lebedeva V. I., Moskvina V. V., Shenyavskaya L. A. *Dekorirovanie poverkhnosti tverdykh tel* [Decoration of the surface of solid bodies]. Moscow : Nauka Publ., 1976. 112 p.
 31. Belyy V. A., Egorenkov N. I., Pleskachevskiy Yu. M. Yavlenie rastvoreniya metallov rasplavami polimernykh pokrytiy [Phenomenon of dissolution of metals by melts of polymer coatings]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya B* [Polymer Science: Series B – Polymer Chemistry], 1970, vol. 12, no. 9, pp. 643–644.
 32. Garkunov D. N. *Tribotekhnika* [Tribotechnology]. Moscow : Mashinostroenie Publ., 1985. 424 p.
 33. Mironov V. S. Triboelectret state of polymer composites. *Proceedings of the 7th International Symposium on Electrets (ISE-7)*. Berlin, 1991, pp. 310–315.
 34. Avvakumov E. G. *Mekhanicheskie metody aktivatsii khimicheskikh protsessov* [Mechanical methods of activation of chemical processes]. Novosibirsk : Nauka Publ., 1979. 259 p.
 35. Grigor'yeva T. F., Barinova A. P., Lyakhov N. Z. *Mekhanokhimicheskiy sintez v metallicheskiykh sistemakh* [Mechanochemical synthesis in metal systems]. Ed. E. G. Avvakumov. Novosibirsk : Parallell' Publ., 2008. 311 p.
 36. Khint Y. A. *UDA-tekhnologiya: problemy i perspektivy* [UDA-technology: problems and prospects]. Tallinn : Valgus Publ., 1981. 36 p.
 37. Avdeychik S. V., Struk V. A., Sorokin V. G., Antonov A. S. Osobennosti realizatsii nanorazmernosti v kompozitakh na osnove polimernoy matritsy [Features of the implementation of nanoscale in composites based on a polymer matrix]. *Nanomaterialy i nanostrukturny – XXI vek* [Nanomaterials and nanostructures – XXI century], 2016, vol. 7, no. 2, pp. 37–44.
 38. Avdeychik O. V., Struk V. A., Ishchenko M. V., Ishchenko R. V., Prushak A. S., Konoplyanik A. V., Barsukov V. V. Kompozitsionnyy tribotekhnicheskiy material [Composite tribological material]. Patent BY, no. 16768, 2013.
 39. Struk V. A., Kravchenko V. I., Kostyukovich G. A., Avdeychik S. V. Kompozitsionnyy termostoykiy tribotekhnicheskiy material [Composite heat-resistant tribotechnical material]. Patent RU, no. 2268273, 2006.
 40. Struk V. A., Kravchenko V. I., Kostyukovich G. A., Avdeychik S. V., Ratobyl'skiy S. V., Manulenko A. F., Smuraga O. S. Kompozitsionnyy termoplastichnyy material [Composite thermoplastic material]. Patent RU, no. 2276677, 2006.
 41. Struk V. A., Kravchenko V. I., Kostyukovich G. A., Avdeychik S. V., Ovchinnikov E. V., Basinyuk V. L., Gerasimchik I. I., Shkurskiy I.

- A., Mardosevich E. I. Sostav kompozitsionnogo polimernogo materiala dlya funktsional'nogo pokrytiya i sposob yego naneseniya [Composition of a composite polymer material for a functional coating and a method for its application]. Patent RU, no. 2338764, 2008.
42. Struk V. A., Kravchenko V. I., Kostyukovich G. A., Avdeychik S. V., Belyy L. S., Ovchinnikov E. V., Liopo V. A. Sposob izgotovleniya izdeliy iz polimernykh termoplastichnykh materialov [Method of manufacturing products from polymer thermoplastic materials]. Patent RU, no. 2321603, 2008.
43. Struk V. A., Kravchenko V. I., Kostyukovich G. A., Avdeychik S. V., Skaskevich A. A., Chekel' A. V. Kompozitsionnyy termoplastichnyy material [Composite thermoplastic material]. Patent RU, no. 2283325, 2006.
44. Struk V. A., Kravchenko V. I., Kostyukovich G. A., Avdeychik S. V., Ovchinnikov E. V., Liopo V. A., Kletsko V. V., Belotserkovskiy M. A. Sposob formirovaniya kompozitsionnogo pokrytiya iz silikatpolimernogo materiala [Method of forming composite coating from silicate-polymer material]. Patent RU, no. 2332525, 2008.
45. Antonov A. S., Struk V. A., Avdeychik S. V., Vorontsov A. S. Sposob polucheniya nanomodifikatora dlya polimernykh materialov [A method of obtaining a nanomodifier for polymer materials]. Patent BY, no. 22316, 2018.
46. Struk V. A., Kravchenko V. I., Kostyukovich G. A., Avdeychik S. V., Ovchinnikov E. V., Liopo V. A., Kletsko V. V., Belotserkovskiy M. A. Sposob polucheniya nizkorazmemykh napolniteley dlya polimernykh materialov [Method of obtaining low-dimensional fillers for polymer materials]. Patent BY, no. 10901, 2008.
47. Struk V. A., Ovchinnikov E. V., Eysymont E. I., Avdeychik S. V., Shcherba V. Ya., Razumtsev A. P., Mishuk Yu. V. Sposob polucheniya tribo-tekhnicheskogo materiala na osnove poliamida [Method of obtaining tribotechnical material based on polyamide]. Patent BY, no. 21061, 2017.
48. Struk V. A., Kravchenko V. I., Kostyukovich G. A., Avdeychik S. V., Ovchinnikov E. V., Kletsko V. V., Zayash P. I. Sposob polucheniya metalopolimernogo pokrytiya [Method of obtaining metal-polymer coating]. Patent RU, no. 2332524, 2008.
49. Struk V. A., Avdeychik S. V., Ovchinnikov E. V., Eysymont E. I., Kravchenko V. I. Plastichnaya smazka [Plastic grease]. Application BY, no. a20121815, 2016.
50. Struk V. A., Avdeychik S. V., Ovchinnikov E. V., Kostyukovich G. A., Kravchenko V. I. Sostav kompozitsionnogo smazochnogo materiala [Composition of a composite lubricant]. Patent BY, no. 18073, 2014.
-