

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-1-62-73>

УДК 677.494.7

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ОКСИДА КРЕМНИЯ (IV) НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН

Л. А. ЩЕРБИНА⁺, И. А. БУДКУТЕ, А. А. СЕМЕНОВИЧ, Я. Ю. РУДЕНОК, И. С. РАДКОВСКИЙ

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, пр-т Шмидта, 3, 212027, г. Могилев, Беларусь

Цель работы — анализ влияния высокодисперсных частиц оксида кремния (IV) в сопоставлении с частицами оксида титана (IV), вводимых в прядильный раствор на основе волокнообразующего терсополимера акрилонитрила, метилакрилата и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты в диметилформамиде, на особенности процесса формирования по диметилформамидному методу полиакрилонитрильных волокон со специальными свойствами.

Изучены реологические свойства прядильных растворов на основе промышленного волокнообразующего терсополимера акрилонитрила, метилакрилата, 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты и наноразмерных частиц оксида кремния (IV) марок Aerosil R972 и Aerosil A200, а также оксида титана (IV) в диметилформамиде.

Показано, что прядильные растворы, содержащие указанные наночастицы, не проявляют аномалии вязкостных свойств в выбранных условиях эксперимента. Отмечено влияние содержания и химической природы наноразмерных частиц на динамическую вязкость прядильных жидкостей. В результате ультразвуковой обработки динамическая вязкость модифицированных прядильных растворов, в целом, снижается.

Установлена тенденция антибатного влияния гидрофильных и гидрофобных наноразмерных частиц оксида кремния (IV) на способность к деформации растяжения струи прядильной жидкости и формирующихся из нее гель-волокон, а также сухих волокон при термоориентационном вытягивании. При этом способность к усадке полученных волокон по мере увеличения содержания в них наноразмерных частиц любой природы снижается.

На основе анализа структурно-морфологических особенностей волокон, модифицированных наноразмерными частицами оксида кремния (IV) и оксида титана (IV), показано, что введение данных модификаторов оказывает определенное влияние на процесс формирования надмолекулярной структуры волокон и их морфологию. При этом наличие гидрофильных наноразмерных частиц оксида кремния (IV) в структуре полиакрилонитрильных волокон позволяет повысить их равновесное влагосодержание.

Ключевые слова: сополимер, акрилонитрил, метилакрилат, 2-акриламид-2-метилпропансульфокислота, прядильный раствор, наноразмерные частицы, реология, волокно, формование.

THE EFFECT OF HIGHLY DISPERSED SILICON (IV) OXIDE ON FORMATION PROCESS OF THE POLYACRYLONITRILE FIBERS

L. A. SHCHERBINA⁺, I. A. BUDKUTE, A. A. SEMENOVICH, YA. YU. RUDENOK, I. S. RADKOVSKY

Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Schmidt Ave., 3, 212027, Mogilev, Belarus

The purpose of the work is to analyze the influence of highly dispersed particles of silicon (IV) oxide in com-

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: htvm@tut.by

parison with particles of titanium (IV) oxide introduced into a spinning solution based on a fiber-forming tercopolymer of acrylonitrile, methyl acrylate and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid in dimethylformamide, on the forming features of polyacrylonitrile fibers with special properties using the dimethylformamide method.

The rheological properties of spinning solutions based on industrial fiber-forming tercopolymer acrylonitrile, methyl acrylate and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid and nano-sized particles of silicon (IV) oxide of the Aerosil R972 and Aerosil A200 brands, as well as oxide titanium (IV) in dimethylformamide.

It has been shown that spinning solutions containing these nanoparticles do not exhibit anomalies in viscosity properties under the selected experimental conditions. The influence of the content and chemical nature of nano-sized particles on the dynamic viscosity of spinning liquids is noted. As a result of ultrasonic treatment, the dynamic viscosity of modified spinning solutions is generally reduced.

A tendency has been established for the antibacterial influence of hydrophilic and hydrophobic nanosized particles of silicon (IV) oxide on the tensile deformation ability of the spinning liquid jet and the gel fibers formed from it, as well as dry fibers during thermal orientation drawing. At the same time, the ability to shrinkage the resulting fibers decreases as the content of nano-sized particles of any nature in them increases.

Based on an analysis of the structural and morphological features of fibers modified with nano-sized particles of silicon (IV) oxide and titanium oxide (IV), it is shown that the introduction of these modifiers has a certain effect on the process of formation of the supramolecular structure of fibers and their morphology. At the same time, the presence of hydrophilic nanosized particles of silicon (IV) oxide in the structure of polyacrylonitrile fibers makes it possible to increase their equilibrium moisture content.

Keywords: copolymer, acrylonitrile, methyl acrylate, 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid, spinning solution, nano-sized particles, rheology, fiber, spinning.

Поступила в редакцию 20.02.2024

© Л. А. Щербина, И. А. Будкуте, А. А. Семенович, Я. Ю. Руденок, И. С. Радковский, 2024

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:

Щербина Л. А., Будкуте И. А., Семенович А. А., Руденок Я. Ю., Радковский И. С. Влияние высокодисперсного оксида кремния (IV) на процесс формирования полиакрилонитрильных волокон // Полимерные материалы и технологии. 2024. Т. 10, № 1. С. 62–73. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-1-62-73>

Citation sample:

Shcherbina L. A., Budkute I. A., Semenovich A. A., Rudenok Ya. Yu., Radkovskiy I. S. Vliyanie vysokodispersnogo oksida kremniya (IV) na protsess formirovaniya poliakrilonitril'nykh volokon [The effect of highly dispersed silicon (IV) oxide on formation process of the polyacrylonitrile fibers]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2024, vol. 10, no. 1, pp. 62–73. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-1-62-73>

Литература

1. Кричевский Г. Е. Нано-, био-, химические технологии в производстве нового поколения текстиля, волокон и одежды. М. : Типография МГУ, 2011. 528 с.
2. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М. : Техносфера, 2005. 336 с.
3. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М. : Физматлит, 2005. 416 с.
4. Помогайло А. Д., Розенберг А. С., Уфлянд И. Е. Наночастицы металлов в полимерах. М. : Химия, 2000. 672 с.
5. Помогайло А. Д., Савостьянов В. С. Металлсодержащие мономеры и полимеры на их основе. М. : Химия, 1988. 384 с.
6. Smart Polymer Nanocomposites. Design, Synthesis, Functionalization, Properties, and Applications / Edited by N. Ali, M. Bilal, T. A. Ngunyen, A. Khan, R. K. Gupta. Amsterdam : Elsevier, 2022. 620 p.

7. Микитаев А. К., Козлов Г. В., Заиков Г. Е. Полимерные нанокompозиты. Многообразие структурных форм и приложений. М. : Наука, 2009. 278 с.
8. Полимерные нанокompозиты : пер. с англ. / под ред. Ю-Винг Май, Жонг-Жен Ю. М. : Техносфера, 2011. 688 с.
9. Бирюков А. В., Артеменко С. Е., Бирюков В. П. Формализация задачи оптимального управления механическими характеристиками полипропиленовой нити // Химические волокна. 2003. № 4. С. 58–61.
10. Horrocks A. R., Mwila J., Mirafat M. The influence of carbon black on properties of orientated polypropylene: Part I Tensile and physical properties // J. Mater. Sci., 1999, vol. 34, pp. 4333–4340. doi: 10.1023/A:1004687827571
11. Баланев А. С. Физико-механические свойства полипропиленовых пленочных нитей с углеродными наполнителями : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.19.01. Санкт-Петербург, 2010. 19 с.
12. Москалюк О. А. Разработка и исследование свойств композитных полипропиленовых волокон с углеродными нанонаполнителями : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.19.01, 05.17.06. Санкт-Петербург, 2012. 20 с.
13. Mikołajczyk T., Szparaga G., Boguń M., Fraczek-Szczypta A., Blazewicz S. Effect of Spinning Conditions on the Mechanical Properties of Polyacrylonitrile Fibers Modified with Carbon Nanotubes // J. Appl. Polym. Sci., 2010, vol. 115, is. 6, pp. 3628–3635. doi: 10.1002/app.31414
14. Yanilmaz M., Lu Y., Zhu J. Zhang X. Silica/polyacrylonitrile hybrid nanofiber membrane separators via sol-gel and electrospinning techniques for lithium-ion batteries // J. Power Sources, 2016, vol. 313, pp. 205–212. doi: 10.1016/j.jpowsour.2016.02.089
15. Wang Y., Huang L., Tang J., Wang Y., Li X., Ma W. Luminescent Polyacrylonitrile (PAN) Electrospinning Nanofibers Encapsulating Silica nanoparticles carried Ternary Europium Complex // International Journal of electrochemical science, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 2058–2065. doi: 10.1016/S1452-3981(23)16082-2
16. Raft M. H., Shahzad K., Josien L. Bonne M., Mohsenzadeh E., Delaite C., Lebeau B., Khubaib M. A., Adolphe D. C. Structure–Property Behavior of Nanofibers Based on Polyacrylonitrile/ Mesoporous Silica (SBA-15) Composites Prepared by Electrospinning // Arabian Journal for Science and Engineering, 2024, vol. 49, pp. 1245–1256. doi: 10.1007/s13369-023-08320-8
17. Mingjia Shi, Cunguo Tang, Xudong Yang, Junling Zhou, Fei Jia, Yuxiang Han and Zhenyu Li. Superhydrophobic silica aerogels reinforced with polyacrylonitrile fibers for adsorbing oil from water and oil mixtures // RSC Advances, 2017, vol. 7, no. 7, pp. 4039–4045. doi: 10.1039/C6RA26831E
18. Nguyen H. K. D., Hoanga P. T., Dinh N. T. Synthesis of Modified Silica Aerogel Nanoparticles for Remediation of Vietnamese Crude Oil Spilled on Water // Journal of the Brazilian Chemical Society, 2018, vol. 29, no. 8, pp. 1714–1720. doi: 10.21577/0103-5053.20180046. ISSN 0103-5053
19. Gurav J. L., Jung I.-K., Park H.-H., Kang E. S., Nadargi D. Y. Silica Aerogel: Synthesis and Applications // Journal of Nanomaterials, 2010, vol. 24. doi: 10.1155/2010/409310
20. Maleki H., Durães L., Portugal A. An overview on silica aerogels synthesis and different mechanical reinforcing strategies // Journal of Non-Crystalline Solids, 2014, vol. 385, pp. 55–74. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2013.10.017
21. Schaefer D. W., Keefer K. D. Structure of Random Porous Materials: Silica Aerogel // Physical Review Letters, 1986, vol. 56, is. 20, pp. 2199–2202. doi: 10.1103/PhysRevLett.56.2199
22. Akhter F., Soomro S. A., Inglezakis V. J. Silica aerogels; a review of synthesis, applications and fabrication of hybrid composites // Journal of Porous Materials, 2021, vol. 28, pp. 1387–1400. doi: 10.1007/s10934-021-01091-3
23. Schaefer D. W., Olivier B. J., Ashley C. S., Richter D., Farago B., Frick B., Hrubesh L., Bommel M. J. van, Long G., Krueger S. Structure and topology of silica aerogels // Journal of Non-Crystalline Solids, 1992, vol. 145, pp. 105–112. doi: 10.1016/S0022-3093(05)80438-7
24. Hu Zhang, Chao Zhang, Wentao Ji, Xian Wang, Yueming Li, Wenquan Tao. Experimental Characterization of the Thermal Conductivity and Microstructure of Opacifier-Fiber-Aerogel Composite // Molecules, 2018, vol. 23, is. 9, pp. 2198–2210. doi: 10.3390/molecules23092198
25. Caponi S., Carini G., D'Angelo G., Fontana A., Pilla O., Rossi F., Terki F., Tripodo G., Woignier T. Acoustic and thermal properties of silica aerogels and xerogels // Phys. Rev. B 70, 2004, vol. 70, is. 21. doi: 10.1103/PhysRevB.70.214204
26. Щербина Л. А., Городнякова И. С., Пчелова Н. В., Будкуте И. А., Устинов К. Ю. Структурно-морфологические особенности волокон, получаемых по диметилформамидной технологии из терсополимеров акрилонитрила, метилакрилата и итаконовой кислоты // Полимерные материалы и технологии, 2023, Т. 9, № 2, С. 55–67. doi: 10.32864/polymmattech-2023-9-2-55-67
27. Городнякова И. С., Чвириов П. В., Щербина Л. А. Об опыте эксплуатации и модернизации стандовой прядильной установки МУЛ-1 // Волокна и пленки 2011. Перспективные технологии и оборудование для производства и переработки волокнистых и пленочных материалов : материалы Международной научно-технической конференции-семинара, Могилев, 28 октября 2011 г. / Могилевский государственный университет продовольствия; отв. ред. А. В. Акулич. Могилев, 2011. С. 173–175.
28. Пчелова Н. В., Щербина Л. А., Городнякова И. С., Будкуте И. А. Исследование влияния условий формирования на окрашиваемость гель-волокон из сополимеров акрилонитрила, метилакрилата и итаконовой кислоты // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2020. № 2 (39). С. 118–129. doi: 10.24411/2079-7958-2020-13912
29. Калашник А. Т., Паничкина О. Н., Серков А. Т., Будницкий Г. А. О структуре акриловых волокон // Химические волокна. 2002. № 6. С. 18–23.
30. Городнякова И. С., Щербина Л. А., Будкуте И. А. Влияние состава осадительной ванны на структуру и свойства волокна, получаемого мокрым методом из растворов поли[акрилонитрил-со-метилакрилат-со-2-акриламид-2-метилпропансульфоуксусной кислоты] в апротонных и гидротропных растворителях // Полимерные материалы и технологии. 2020. Т. 6, № 4, С. 42–57. doi: 10.32864/polymmattech-2020-6-4-42-57

References

1. Krichevskiy G. E. *Nano-, bio-, khimicheskie tekhnologii v proizvodstve novogo pokoleniya tekstilya, volokon i odezhdy* [Nano-, bio-, chemical technologies in the production of a new generation of textiles, fibers and clothing]. Moscow : Tipografiya MGU Publ., 2011. 528 p.
2. Pul Ch., Ouens F. *Nanotekhnologii* [Nanotechnology]. Moscow : Tekhnosfera Publ., 2005. 336 p.
3. Gusev A. I. *Nanomaterialy, nanostruktury, nanotekhnologii* [Nanomaterials, nanostructures, nanotechnologies]. Moscow : Fizmatlit Publ., 2005. 416 p.
4. Pomogaylo A. D., Rozenberg A. S., Uflyand I. E. *Nanochastitsy metallov v polimerakh* [Metal nanoparticles in polymers]. Moscow : Khimiya Publ., 2000. 672 p.
5. Pomogaylo A. D., Savost'yanov V. S. *Metallsoderzhashchie monomery i polimery na ikh osnove* [Metal-containing monomers and polymers based on them]. Moscow : Khimiya Publ., 1988. 384 p.
6. *Smart Polymer Nanocomposites. Design, Synthesis, Functionalization, Properties, and Applications*. Edited by N. Ali, M. Bilal, T. A. Nguyen, A. Khan, R. K. Gupta. Amsterdam : Elsevier, 2022. 620 p.
7. Mikitaev A. K., Kozlov G. V., Zaikov G. E. *Polimernye nanokompозиты. Mnogoobrazie strukturnykh form i prilozheniy* [Polymer nanocomposites. Variety of structural forms and applications]. Moscow : Nauka Publ., 2009. 278 p.

8. *Polimernye nanokompozity* [Polymer nanocomposites]. Eds. Yu-Ving May, Zhong-Zhen Yu. Moscow : Tekhnosfera Publ., 2011. 688 p.
9. Biryukov A. V., Artemenko S. E., Biryukov V. P. Formalizatsiya zadachi optimal'nogo upravleniya mekhanicheskimi kharakteristikami polipropilenovoy niti [Formalization of the problem of optimal control of the mechanical characteristics of poly-propylene yarns]. *Khimicheskie volokna* [Fibre Chemistry], 2003, no. 4, pp. 58–61.
10. Horrocks A. R., Mwila J., Mirafab M. The influence of carbon black on properties of orientated polypropylene: Part I Tensile and physical properties. *J. Mater. Sci.*, 1999, vol. 34, pp. 4333–4340. doi: 10.1023/A:1004687827571
11. Balanev A. C. Fiziko-mekhanicheskie svoystva polipropilenovykh plenochnykh nitey s uglerodnymi napolnitelyami. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Physico-mechanical properties of polypropylene film threads with carbon fillers. PhD eng. sci. diss. abstract]. Saint-Petersburg, 2010. 19 p.
12. Moskalyuk O. A. Razrabotka i issledovanie svoystv kompozitnykh polipropilenovykh volokon s uglerodnymi nanonapolnitelyami. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Development and study of the properties of composite polypropylene fibers with carbon nanofillers. PhD eng. sci. diss. abstract]. Saint-Petersburg, 2012. 20 p.
13. Mikołajczyk T., Szparaga G., Boguń M., Fraczek-Szczypta A., Blazewicz S. Effect of Spinning Conditions on the Mechanical Properties of Polyacrylonitrile Fibers Modified with Carbon Nanotubes. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2010, vol. 115, is. 6, pp. 3628–3635. doi: 10.1002/app.31414
14. Yanilmaz M., Lu Y., Zhu J. Zhang X. Silica/polyacrylonitrile hybrid nanofiber membrane separators via sol-gel and electrospinning techniques for lithium-ion batteries. *J. Power Sources*, 2016, vol. 313, pp. 205–212. doi: 10.1016/j.jpowsour.2016.02.089
15. Wang Y., Huang L., Tang J., Wang Y., Li X., Ma W. Luminescent Polyacrylonitrile (PAN) Electrospinning Nanofibers Encapsulating Silica nanoparticles carried Ternary Europium Complex. *International Journal of electrochemical science*, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 2058–2065. doi: 10.1016/S1452-3981(23)16082-2
16. Rafe M. H., Shahzad K., Josien L. Bonne M., Mohsenzadeh E., Delaite C., Lebeau B., Khubaib M. A., Adolphe D. C. Structure–Property Behavior of Nanofibers Based on Polyacrylonitrile/ Mesoporous Silica (SBA-15) Composites Prepared by Electrospinning. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2024, vol. 49, pp. 1245–1256. doi: 10.1007/s13369-023-08320-8
17. Mingjia Shi, Cunguo Tang, Xudong Yang, Junling Zhou, Fei Jia, Yuxiang Han and Zhenyu Li. Superhydrophobic silica aerogels reinforced with polyacrylonitrile fibers for adsorbing oil from water and oil mixtures. *RSC Advances*, 2017, vol. 7, no. 7, pp. 4039–4045. doi: 10.1039/C6RA26831E
18. Nguyen H. K. D., Hoanga P. T., Dinh N. T. Synthesis of Modified Silica Aerogel Nanoparticles for Remediation of Vietnamese Crude Oil Spilled on Water. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2018, vol. 29, no. 8, pp. 1714–1720. doi: 10.21577/0103-5053.20180046. ISSN 0103-5053
19. Gurav J. L., Jung I.-K., Park H.-H., Kang E. S., Nadargi D. Y. Silica Aerogel: Synthesis and Applications. *Journal of Nanomaterials*, 2010, vol. 24. doi: 10.1155/2010/409310
20. Maleki H., Durães L., Portugal A. An overview on silica aerogels synthesis and different mechanical reinforcing strategies. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2014, vol. 385, pp. 55–74. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2013.10.017
21. Schaefer D. W., Keefer K. D. Structure of Random Porous Materials: Silica Aerogel. *Physical Review Letters*, 1986, vol. 56, is. 20, pp. 2199–2202. doi: 10.1103/PhysRevLett.56.2199
22. Akhter F., Soomro S. A., Inglezakis V. J. Silica aerogels; a review of synthesis, applications and fabrication of hybrid composites. *Journal of Porous Materials*, 2021, vol. 28, pp. 1387–1400. doi: 10.1007/s10934-021-01091-3
23. Schaefer D. W., Olivier B. J., Ashley C. S., Richter D., Farago B., Frick B., Hrubesh L., Bommel M. J. van, Long G., Krueger S. Structure and topology of silica aerogels. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1992, vol. 145, pp. 105–112. doi: 10.1016/S0022-3093(05)80438-7
24. Hu Zhang, Chao Zhang, Wentao Ji, Xian Wang, Yueming Li, Wenquan Tao. Experimental Characterization of the Thermal Conductivity and Microstructure of Opacifier-Fiber-Aerogel Composite. *Molecules*, 2018, vol. 23, is. 9, pp. 2198–2210. doi: 10.3390/molecules23092198
25. Caponi S., Carini G., D'Angelo G., Fontana A., Pilla O., Rossi F., Terki F., Tripodo G., Woignier T. Acoustic and thermal properties of silica aerogels and xerogels. *Phys. Rev. B* 70, 2004, vol. 70, is. 21. doi: 10.1103/PhysRevB.70.214204
26. Shcherbina L. A., Gorodnyakova I. S., Pchelova N. V., Budkute I. A., Ustinov K. Yu. Strukturno-morfologicheskie osobennosti volokon, poluchaemykh po dimetilformamidnoy tekhnologii iz tersopolimerov akrilonitrila, metilakrilata i itakonovoy kisloty [Structural and morphological features of fiber produced using by dimethylformamide technology from tercopolymers of acrylonitrile, methyl acrylate and itaconic acid]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2023, vol. 9, no. 2, pp. 55–67. doi: 10.32864/polymmattech-2023-9-2-55-67
27. Gorodnyakova I. S., Chvirov P. V., Shcherbina L. A. Ob opyte ekspluatatsii i modernizatsii stendovoy pryadil'noy ustanovki MUL-1 [On the experience of operation and modernization of the bench spinning plant MUL-1]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-seminara «Volokna i plenki 2011. Perspektivnyye tekhnologii i oborudovanie dlya proizvodstva i pererabotki voloknistykh i plenochnykh materialov»* [Proc. of the International scientific and technical conference-seminar “Fibers and films 2011. Advanced technologies and equipment for the production and processing of fibrous and film materials”]. Mogilev, 2011, pp. 173–175.
28. Pchelova N. V., Shcherbina L. A., Gorodnyakova I. S., Budkute I. A. Issledovanie vliyaniya usloviy formovaniya na nakrashaemost' gel'-volokon iz sopolimerov akrilonitrila, metilakrilata i itakonovoy kisloty [Investigation of the Influence of Forming Conditions on the Dyeability of Gel Fibers Made from Copolymers of Acrylonitrile, Methyl Acrylate, and Itaconic Acid]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Vestnik of Vitebsk State Technological University], 2020, no. 2 (39), pp. 118–129. doi: 10.24411/2079-7958-2020-13912
29. Kalashnik A. T., Panichkina O. N., Serkov A. T., Budnitskiy G. A. O strukture akrilovykh volokon [About the structure of acrylic fibers]. *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers], 2002, no. 6, pp. 18–23.
30. Gorodnyakova I. S., Shcherbina L. A., Budkute I. A. Vliyanie sostava osaditel'noy vannы na strukturu i svoystva volokna, poluchaemogo mokrym metodom iz rastvorov poli[akrilonitril–so–metilakrilat–so–2–akrilamid–2–metilpropan sulfonoy kisloty] v aprotionnykh i gidrotropnom rastvoritelyakh [The influence of the composition of the pre-cipitation bath on the structure and properties of fiber obtained by the wet method from solutions of poly[acrylonitrile–co–methylacrylate–co–2–acrylamide–2–methylpropanesulfonic acid] in aprotic and hydro-tropic solvents]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2020, vol. 6, no. 4, pp. 42–57. doi: 10.32864/polymmattech-2020-6-4-42-57