

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-4-42-57>

УДК 677.494.7-13

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ОСАДИТЕЛЬНОЙ ВАННЫ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВОЛОКНА, ПОЛУЧАЕМОГО МОКРЫМ МЕТОДОМ ИЗ РАСТВОРОВ ПОЛИ[АКРИЛОНИТРИЛ-СО-МЕТИЛАКРИЛАТ-СО-2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ] В АПРОТОННЫХ И ГИДРОТРОПНОМ РАСТВОРИТЕЛЯХ

И. С. ГОРОДНЯКОВА, Л. А. ЩЕРБИНА⁺, И. А. БУДКУТЕ

Могилевский государственный университет продовольствия, пр-т Шмидта, 3, 212027, г. Могилев, Беларусь

В настоящее время отсутствуют однозначные рекомендации, позволяющие обоснованно осуществить выбор растворителя для переработки сополимеров акрилонитрила в волокнистые материалы. С целью получения исходных данных для обоснованного выбора растворителя в производстве полиакрилонитрильных (ПАН) волокнистых материалов различного назначения, рассмотрены процессы формирования морфологической структуры ПАН волокон на основе сополимера акрилонитрил (АН), метилакрилата (МА) и 2-акриламид-2-метилпропансульфонокислоты (АМПС) с применением диметилформамида (ДМФ), диметилсульфоксида (ДМСО) или 51,1% водного раствора роданида натрия (ВРРН) в качестве растворителей. Формование волокон вели мокрым методом на стендовом оборудовании, моделирующем производственные процессы. В ходе исследования также варьировали содержание растворителя в осадительной ванне. Показано влияние химической природы растворителей и их содержания в осадительной ванне на особенности формирования структуры ПАН волокон, а также их физико-механические и физико-химические свойства. По увеличению однородности формирующейся при 15 °С морфологической структуры волокон растворители можно расположить в следующий ряд: «ДМФ–ДМСО–ВРРН». Также применение ДМСО позволяет путем изменения условий формования получать волокна с улучшенными физико-механическими показателями и различным профилем поперечного сечения при сохранении стабильности технологического процесса в широком диапазоне варьирования состава осадительной ванны.

Ключевые слова: полиакрилонитрил, диметилформамид, диметилсульфоксид, роданид натрия, формование, волокно, структура, прочность, усадка, удлинение при разрыве, удельная поверхность.

IMPACT OF COAGULATION BATH COMPOSITION ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF FIBERS OBTAINED BY WET METHOD FROM SOLUTIONS OF POLY[ACRYLONITRILE-SO-METHYLACRYLATE-SO-2-ACRYLAMIDE-2-METHYL-PROPANE SULFONIC ACID] IN APROTONE AND HYDROTROPE SOLVENTS

I. S. HARADNIAKOVA, L. A. SHCHERBINA⁺, I. A. BUDKUTE

Mogilev State University of Food Technologies, Schmidt Ave, 3, 212027, Mogilev, Belarus

Nowadays, there are no unequivocal recommendations that would make it possible to reasonably

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

choose a solvent for the processing of acrylonitrile copolymers into fibrous materials. In order to obtain the initial data for a reasonable choice of a solvent in the production of polyacrylonitrile (PAN) fibrous materials for various purposes, the process of morphological structure formation of PAN fibers based on a copolymer of acrylonitrile (AN), methyl acrylate (MA) and 2-acrylamide-2-methylpropane sulfonic acid (AMPS) using dimethylformamide (DMF), dimethyl sulfoxide (DMSO) or 51.1% aqueous solution of sodium thiocyanate (ASST) as solvents were considered. The spinning of the fibers was carried out by the wet method on bench equipment simulating production processes. The content of solvent in the coagulation bath ranged during the study as well. The impact of solvent's chemical nature and its content in the coagulation bath on formation specificities of PAN fiber structure as well as their physical-mechanical and physical-chemical properties are shown. The solvents can be placed in the following row according to the increase of uniformity of the morphological structure of the formed fibers at 15 °C: «DMF–DMSO–ASST». The use of DMSO provides the possibility to obtain fibers with high physical and mechanical characteristics and different cross-section profiles by changing the conditions of formation without affecting the stability of the technological process in a wide range of variation of the composition of the coagulation bath.

Keywords: polyacrylonitrile, dimethylformamide, dimethyl sulfoxide, sodium thiocyanate, spinning, fiber, structure, strength, shrinkage, elongation at break, specific surface area.

Поступила в редакцию 23.10.2020

© И. С. Городнякова, Л. А. Щербина, И. А. Будкуте, 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:

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-метилпропансульфокислоты] в апротонных и гидротропном растворителях // Полимерные материалы и технологии. 2020. Т. 6, № 4. С. 42–57. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-4-42-57>

Citation sample:

Gorodnyakova I. S., Shcherbina L. A., Budkute I. A. Vliyanie sostava osaditel'noy ванны na strukturu i svoystva volokna, poluchaemogo mokrym metodom iz rastvorov poli[akrilonitril-so-metilakrilat-so-2-akrilamid-2-metilpropansul'fokisloty] v aprotonnykh i gidrotropnom rastvoritelyakh [Impact of coagulation bath composition on structure and properties of fibers obtained by wet method from solutions of poly[acrylonitrile-so-methylacrylate-so-2-acrylamide-2-methyl-propane sulfonic acid] in aprotone and hydrotrope solvents]. *Polymer Materials and Technologies*, 2020, vol. 6, no. 4, pp. 42–57. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-4-42-57>

Литература

1. Рязов А. Н., Груздев В. А., Бакшеев И. П., Костров Ю. А., Сигал М. Б., Айзенштейн Э. М., Циперман В. Л., Ходаковский М. Д. Технология производства химических волокон. М.: Химия, 1980. 448 с.
2. Нимц Ф. Г. Особенности структуры полиакрилонитрильных гель-волокон // Химические волокна. 1986. № 3. С. 11–13.
3. Бандурян С. И., Иовлева М. М., Будницкий Г. А. Образование первичной надмолекулярной структуры некоторых видов волокон в условиях формования мокрым способом // Химические волокна. 2003. № 5. С. 29–31.
4. Романова Т. А., Медведев В. А., Кочорова Л. А., Володин В. И., Серков А. Т. Получение полиакрилонитрильной нити формованием в органические ванны // Химические волокна. 1991. № 3. С. 15–16.

5. Коновалова Л. Я., Негодяева Г. С. Сорбционные свойства полиакрилонитрильных волокон // *Химические волокна*. 2002. № 3. С. 37–39.
6. Городнякова И. С., Чвириков П. В., Щербина Л. А., Устинов К. Ю. Влияние природы апротонного растворителя на вязкость прядильных растворов сополимеров акрилонитрила // *Техника и технология пищевых производств: Материалы XII Международной научно-технической конференции (Могилев, 19–20 апреля 2018 г.)* / Могилевский государственный университет продовольствия. Могилев, 2018. С. 412–413.
7. Городнякова И. С., Щербина Л. А., Устинов К. Ю. О некоторых аспектах регулирования показателя «усадка» волокна на основе терсополимера акрилонитрила, метилакрилата и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты // *Полимерные материалы и технологии*. 2017. Т. 3, № 4. С. 37–43. doi: 10.32864/polymmattech-2019-3-4-37-43
8. Городнякова И. С., Чвириков П. В., Щербина Л. А., Короткий А. Н., Бритов А. М. Анализ возможности замены диметилформамида при получении волокна нитрон с целью повышения экологической безопасности производства // *Инновационные технологии в сфере экологической безопасности и рационального природопользования: Доклады научно-технического семинара (Гродно, 15 ноября 2017 г.)* / ОАО «ГИАП». Гродно, 2017. С. 38–40.
9. Peng G., Zhang X., Wen Y., Yang Y., Liu L. Effect of Coagulation Bath DMSO Concentration on the Structure and Properties of Polyacrylonitrile (PAN) Nascent Fibers during Wet-Spinning // *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 2008, vol. 47, no. 6, pp. 1130–1141. doi:10.1080/00222340802403214
10. Dong X.-G., Wang C.-G., Bai Y.-J., Cao W.-W. Effect of DMSO/H₂O Coagulation Bath on the Structure and Property of Polyacrylonitrile Fibers During Wet-Spinning // *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, vol. 105, is. 3, pp. 1221–1227. doi: 10.1002/app.25665
11. Takahashi M., Nukushina Y., Kosugi S. Effect of Fiber-Forming Conditions on the Microstructure of Acrylic Fiber // *Textile research journal*, 1964, vol. 34, no. 2, pp. 87–97. doi: 10.1177/004051756403400201
12. Iovleva M. M., Smirnova V. N., Budnitskii G. A. The solubility of polyacrylonitrile // *Fiber chemistry*, 2001, vol. 33, no. 4, pp. 262–264. doi: 10.1023/A:1012934313303
13. Щербина Л. А. Разработка и внедрение синтеза волокнообразующего терсополимера акрилонитрила в гидротропном растворителе: дис. канд. тех. наук : 05.17.06. Минск, 2002. 161 с.
14. Пакшвер А. Б., Геллер Б. Э. *Химия и технология производства волокна нитрон*. М. : Госхимиздат, 1960. 148 с.
15. Пакшвер Э. А., Перепелкин К. Е., Фихман В. Д., Варшавский В. Я., Зверев М. П. *Карбоцепные синтетические волокна* / под ред. К. Е. Перепелкина. М. : Химия, 1973. 597 с.
16. Геллер Б. Э., Геллер А. А., Щербина Л. А. *Высокомолекулярные соединения: учебно-методическое пособие: в 2 ч. Ч.1 Свойства волокнообразующих полимеров*. Могилев : МГУП, 2016. 260 с.
17. Городнякова И. С., Чвириков П. В., Щербина Л. А. Об опыте эксплуатации и модернизации стандовой прядильной установки МУЛ-1 // *Волокна и пленки 2011: Материалы Международной научно-технической конференции-семинара (Могилев, 28 октября 2011 г.)* / Могилевский государственный университет продовольствия. Могилев, 2011. С. 173–175.
18. Геллер А. А., Геллер Б. Э. Физико-химические и технологические аспекты инклюзионного модифицирования химических волокон // *Химические волокна*. 1990. № 3. С. 8–17.
19. Щербина Л. А., Юшкевич В. В., Бакунович С. А., Никитина А. А. Исследование физико-химических свойств системы «вода-апротонный растворитель» // *Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология : доклады международной научно-технической конференции (Саратов, 6–8 июля 2004 г.)* / Саратовский государственный технический университет. Саратов, 2004. С. 69–72.
20. Щербина Л. А., Юшкевич В. В. Вязкостные свойства систем «вода-апротонный растворитель», применяемых в производстве полиакрилонитрильных волокон // *Современные технологии и оборудование текстильной промышленности : сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции (Москва, 4 ноября 2004)* / Московский государственный текстильный университет им. А. Н. Косыгина. Москва, 2004. С. 135–136.
21. Щербина Л. А., Чвириков П. В., Федосенко А. А., Бакунович С. А., Никитина А. А. Исследование физико-химических свойств систем «вода-апротонный растворитель», используемых при производстве полиакрилонитрильных волокон // *Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: сборник материалов Международной научно-технической конференции (Минск, 16–18 ноября 2005 г.)* / Белорусский государственный технологический университет. Минск, 2005. С. 323–325.
22. Чвириков П. В., Бакунович С. А., Федосенко А. А., Щербина Л. А. Исследование физико-химических свойств систем «вода-апротонный растворитель» // *«НИРС-2005» : сборник тезисов докладов X Республиканской научной конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь (Минск, 14–16 февраля 2006 г.)* / Белорусский государственный университет. Минск, 2006. С. 36.
23. Федосенко А. А., Никитина А. А., Чвириков П. В., Щербина Л. А. Исследование удельной электрической проводимости водных растворов апротонных растворителей, используемых в производстве волокон // *«НИРС-2005» : сборник тезисов докладов X Республиканской научной конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь (Минск, 14–16 февраля 2006 г.)* / Белорусский государственный университет. Минск, 2006. С. 122.
24. Геллер Б. Э. Свойства системы диметилформамид-вода. I. Термохимические исследования // *Журнал физической химии*. 1961. № 5. С. 1105–1113.
25. Иванова Т. М., Геллер Б. Э. Свойства системы «диметилформамид-вода». II. Давление насыщенного пара и осмотическое давление водных растворов // *Журнал физической химии*. 1961. № 6. С. 1221–1229.
26. Геллер Б. Э. О некоторых физико-химических свойствах диметилформамида // *Журнал физической химии*. 1961. № 10. С. 2210–2216.
27. Геллер Б. Э. Диметилсульфоксид – новый растворитель волокнообразующих полимеров // *Химия и химическая технология высокомолекулярных соединений: сборник статей* / под ред. Б. Э. Геллера. Ташкент : [б. и.], 1964. С. 142–170. (Сборник научно-исследовательских работ / М-во высш. и сред. спец. образования УзССР. Ташк. текстильный ин-т; № 1 (17)).
28. Городнякова И. С., Щербина Л. А. Морфология волокон, получаемых из растворов промышленных волокнообразующих сополимеров акрилонитрила в апротонных и гидротропных растворителях // *Полимерные материалы и технологии*. 2019. Т. 5. № 2. С. 53–66. doi: 10.32864/polymmattech-2019-5-2-53-66
29. Барсуков И. А., Кручинин Н. П., Законодаева Н. К. Влияние условий формования на прочность высокомолекулярного полиакрилонитрильного волокна // *Химические волокна*. 1990. № 1. С. 9
30. Румянцева М. В., Анисимова Е. В., Фоменко Б. А. Зависимость термомеханических и физико-механических свойств полиакрилонитрильной нити от условий ее вытягивания // *Химические волокна*. 1990. № 1. С. 12.
31. Городнякова И. С., Чвириков П. В., Щербина Л. А. Изучение процесса пластификационного вытягивания полиакрилонитрильных волокон // *Современные тенденции развития науки и производства : материалы Международной научно-практической конференции (Кемерово, 23–24 октября 2014 г.)*. Кемерово, 2014. Т. 3. С. 35–37.
32. Сапронова В. В., Городнякова И. С., Чвириков П. В., Щербина Л. А. Вытягивание волокон, получаемых из диметилформамидных

- растворов поли[АН-со-МА-со-АМПС] // Вестник магистратуры. 2015. № 11. С. 50–52.
33. Серков А., Злагоустова Л. А. Зависимость прочности углеродного волокна от физико-механических свойств исходного полиакрилонитрильного волокна // Химические волокна. 2000. № 4. С. 42–43.
 34. Калашник А. Т., Паничкина О. Н., Серков А. Т., Будницкий Г. А. О структуре акриловых волокон // Химические волокна. 2002. № 6. С. 18–23.
 35. Gupta V. S., Afshari M. Tensile failure of polyacrylonitrile fibers // Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres / ed. A. R. Bunsell. Amsterdam : Elsevier, 2009, pp. 486–528.
 36. Городнякова И. С., Чвириов П. В., Щербина Л. А. О влиянии состава пластификационной ванны на структурно-механические свойства полиакрилонитрильных волокон // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы Международной научно-технической конференции (Витебск, 26–27 ноября 2014 г.) / Витебский государственный технологический университет. Витебск, 2014. С. 26–27.
 37. Чвириов П. В., Городнякова И. С., Щербина Л. А. Исследование процесса получения полиакрилонитрильного волокна с повышенной прочностью // Дизайн. Материалы. Технология. 2012. № 5 (25). С. 59–63.
 38. Городнякова И. С., Чвириов П. В., Щербина Л. А., Филиппенко З. А. Об опыте получения полиакрилонитрильных волокнистых материалов технического назначения // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов : материалы Международной научно-технической конференции (Минск, 22–23 ноября 2012 г.) / Белорусский государственный технологический университет. Минск, 2012. С. 237–238.

References

1. Ryauzov A. N., Gruzdev V. A., Baksheev I. P., Kostrov Yu. A., Sigal M. B., Ayzenshtein E. M., Tsiperman V. L., Khodakovskiy M. D. *Tekhnologiya proizvodstva khimicheskikh volokon* [Chemical fiber production technology]. Moscow: Khimiya Publ., 1980. 448 p.
2. Nimts F. G. Osobennosti struktury poliakrilonitriľnykh gel'-volokon [Features of the structure of polyacrylonitrile gel fibers]. *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers], 1986, no. 3, pp. 11–13.
3. Banduryan S. I., Iovleva M. M., Budnitskiy G. A. Obrazovanie pervichnoy nadmolekulyarnoy struktury nekotorykh vidov volokon v usloviyakh formovaniya mokrym sposobom [Formation of the primary supramolecular structure of certain types of fibers under wet spinning conditions]. *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers], 2003, no. 5, pp. 29–31.
4. Romanova T. A., Medvedev V. A., Kochorova L. A., Volodin V. I., Serkov A. T. Poluchenie poliakrilonitriľnoy niti formovaniem v organicheskie vannы [Obtaining polyacrylonitrile fibers yarn by spinning into organic baths]. *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers], 1991 no. 3, pp. 15–16.
5. Konovalova L. Ya., Negodyaeva G. S. Sorbtsionnye svoystva poliakrilonitriľnykh volokon [Sorbitive properties of polyacrylonitrile fibers]. *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers], 2002, no. 3, pp. 37–39.
6. Gorodnyakova I. S., Chvirov P. V., Shcherbina L. A., Ustinov K. Yu. Vliyanie prirody aprotionnogo rastvoritelya na vyazkost' pryadil'nykh rastvorov sopolimerov akrilonitrila [Influence of the nature of aprotic solvent on the viscosity of spinning solutions of acrylonitrile copolymers]. *Materialy XII Mezhduнародnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv»* [Mat. XIIth Int. Conf. "Technique and technology of food production"]. Mogilev, 2018, pp. 412–413.
7. Gorodnyakova I. S., Shcherbina L. A., Ustinov K. Yu. O nekotorykh aspektakh regulirovaniya pokazatelya «usadka» volokna na osnove tersopolimera akrilonitrila, metilakrilata i 2-akrilamid-2-metilpropansul'fokisloty [On some aspects of regulation of the "shrinkage" index of fiber based on tercopolymer of acrylonitrile, methyl acrylate and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2017, vol. 3, no. 4, pp. 37–43. doi: 10.32864/polymmattech-2019-3-4-37-43
8. Gorodnyakova I. S., Chvirov P. V., Shcherbina L. A., Korotkiy A. N., Britov A. M. Analiz vozmozhnosti zameny dimetilformamida pri poluchenii volokna nitron s tsel'yu povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti proizvodstva [Analysis of the possibility of replacing dimethylformamide in the production of nitron fiber in order to improve the environmental safety of production]. *Doklady nauchno-tekhnicheskogo seminarа «Innovatsionnye tekhnologii v sfere ekologicheskoy bezopasnosti i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya»* [Rep. of Sem. «Innovative technologies in the field of environmental safety and rational use of natural resources»]. Grodno, 2017, pp. 38–40.
9. Peng G., Zhang X., Wen Y., Yang Y., Liu L. Effect of Coagulation Bath DMSO Concentration on the Structure and Properties of Polyacrylonitrile (PAN) Nascent Fibers during Wet-Spinning. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 2008, vol. 47, no. 6, pp. 1130–1141. doi:10.1080/00222340802403214
10. Dong X.-G., Wang C.-G., Bai Y.-J., Cao W.-W. Effect of DMSO/H₂O Coagulation Bath on the Structure and Property of Polyacrylonitrile Fibers During Wet-Spinning. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, vol. 105, is. 3, pp. 1221–1227. doi: 10.1002/app.25665
11. Takahashi M., Nukushina Y., Kosugi S. Effect of Fiber-Forming Conditions on the Microstructure of Acrylic Fiber. *Textile research journal*, 1964, vol. 34, no. 2, pp. 87–97. doi: 10.1177/004051756403400201
12. Iovleva M. M., Smirnova V. N., Budnitskii G. A. The solubility of polyacrylonitrile. *Fiber chemistry*, 2001, vol. 33, no. 4, pp. 262–264. doi: 10.1023/A:1012934313303
13. Shcherbina L. A. Razrabotka i vnedrenie sinteza voloknoobrazuyushchego tersopolimera akrilonitrila v gidrotropnom rastvoritele. Diss. kand. tekh. nauk [Development and implementation of the synthesis of fiber-forming acrylonitrile tercopolymer in hydrotropic solvent. PhD eng.sci. diss.]. Minsk, 2002. 161 p.
14. Pakshver A. B., Geller B. E. *Khimiya i tekhnologiya proizvodstva volokna nitron* [Chemistry and technology for the production of fiber nitron]. Moscow : Goskhimizdat Publ., 1960. 148 p.
15. Pakshver E. A., Perepelkin K. E., Fikhman V. D., Varshavskiy V. Ya., Zverev M. P. *Karbotsepyne sinteticheskie volokna* [Carbon chain synthetic fibers]. Ed. K. E. Perepelkin. Moscow: Khimiya Publ., 1973. 597 p.
16. Geller B. E., Geller A. A., Shcherbina L. A. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ch.1 Svoystva voloknoobrazuyushchikh polimerov* [High-molecular compounds: teaching aid. Part 1. Properties of fiber-forming polymers]. Mogilev: MGUP Publ., 2016. 260 p.
17. Gorodnyakova I. S., Chvirov P. V., Shcherbina L. A. Ob opyte ekspluatatsii i modernizatsii stendovoy pryadil'noy ustanovki MUL-1 [On the experience of operating and modernizing the bench spinning unit MUL-1]. *Materialy Mezhduнародnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-seminara «Volokna i plenki 2011»* [Mat. Int. Conf.-Sem. "Fibers and Films 2011"]. Mogilev, 2011, pp. 173–175.
18. Geller A. A., Geller B. E. Fiziko-khimicheskie i tekhnologicheskie aspekty inkludatsionnogo modifitsirovaniya khimicheskikh volokon [Physicochemical and technological aspects of inclusive modification of chemical fibers]. *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers], 1990, no. 3, pp. 8–17.
19. Shcherbina L. A., Yushkevich V. V., Bakunovich S. A., Nikitina A. A. Issledovanie fiziko-khimicheskikh svoystv sistemy «voda-aprotionnyy rastvoritel'» [Investigation of the physicochemical properties of the "water-aprotic solvent" system]. *Doklady mezhduнародnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Perspektivnye polimernye kompozitsionnye materialy. Alternativnye tekhnologii. Pererabotka. Primenenie. Ekologiya»* [Rep. of Int. Conf. "Promising polymer composite materials. Alternative technologies. Recycling. Application. Ecology"]. Saratov, 2004, pp. 69–72.
20. Shcherbina L. A., Yushkevich V. V. Vyazkostnyye svoystva sistem «voda-aprotionnyy rastvoritel'», primenyaemykh v proizvodstve

- poliakrilonitril'nykh volokon [Viscosity properties of systems "water-aprotic solvent" used in the production of polyacrylonitrile fibers]. *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sovremennye tekhnologii i oborudovanie tekstil'noy promyshlennosti»* [Mat. all-Rus. Conf. "Modern technologies and equipment for the textile industry"]. Moscow, 2004, pp. 135–136.
21. Shcherbina L. A., Chvirov P. V., Fedosenko A. A., Bakunovich S. A., Nikitina A. A. Issledovanie fiziko-khimicheskikh svoystv sistem «voda-aprotionnyy rastvoritel'», ispol'zuemykh pri proizvodstve poliakrilonitril'nykh volokon [Investigation of the physicochemical properties of the systems "water-aprotic solvent" used in the production of polyacrylonitrile fibers]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Resurso- i energosberegayushchie tekhnologii i oborudovanie, ekologicheski bezopasnye tekhnologii»* [Mat. Int. Conf. "Resource and energy saving technologies and equipment, environmentally friendly technologies"]. Minsk, 2005, pp. 323–325.
 22. Chvirov P. V., Bakunovich S. A., Fedosenko A. A., Shcherbina L. A. Issledovanie fiziko-khimicheskikh svoystv sistem «voda - aprotionnyy rastvoritel'» [Investigation of physical and chemical properties of systems "water-aprotic solvent"]. *Sbornik tezisev dokladov X Respublikanskoj nauchnoy konferentsii studentov i aspirantov vysshikh uchebnykh zavedeniy Respubliki Belarus «NIRS-2005»* [Coll. of abs. of the X Rep. conf. of students and graduate students of HEI RB "SIWS-2005"]. Minsk, 2006, pp. 36.
 23. Fedosenko A. A., Nikitina A. A., Chvirov P. V., Shcherbina L. A. Issledovanie udel'noy elektricheskoy provodimosti vodnykh rastvorov aprotionnykh rastvoriteley, ispol'zuemykh v proizvodstve volokon [Investigation of the electrical conductivity of aqueous solutions of aprotic solvents used in the production of fibers]. *Sbornik tezisev dokladov X Respublikanskoj nauchnoy konferentsii studentov i aspirantov vysshikh uchebnykh zavedeniy Respubliki Belarus «NIRS-2005»* [Coll. of abs. of the X Rep. conf. of students and graduate students of HEI RB "SIWS-2005"]. Minsk, 2006, pp. 122.
 24. Geller B. E. Svoystva sistemy «dimetilformamid–voda». I. Termokhimicheskie issledovaniya [Properties of the "dimethylformamide–water system". I. Thermochemical studies]. *Zhurnal fizicheskoy khimii* [Journal of Physical Chemistry], 1961, no. 5, pp. 1105–1113.
 25. Ivanova T. M., Geller B. E. Svoystva sistemy «dimetilformamid–voda». II. Davlenie nasyshchennogo para i osmoticheskoe davlenie vodnykh rastvorov [Properties of the "dimethylformamide–water" system. II. Saturated vapor pressure and osmotic pressure of aqueous solutions]. *Zhurnal fizicheskoy khimii* [Journal of Physical Chemistry], 1961, no. 6, pp. 1221–1229.
 26. Geller B. E. O nekotorykh fiziko-khimicheskikh svoystvakh dimetilformamida [On some physical and chemical properties of dimethylformamide]. *Zhurnal fizicheskoy khimii* [Journal of Physical Chemistry], 1961, no. 10, pp. 2210–2216.
 27. Geller B. E. Dimetilsul'foksid – novyy rastvoritel' voloknoobrazuyushchikh polimerov [Dimethyl sulfoxide – a new solvent for fiber-forming polymers]. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya vysokomolekulyarnykh soedineniy* [Chemistry and chemical technology of high-molecular compounds]. Ed. B. E. Geller. Tashkent, 1964, pp. 142–170.
 28. Gorodnyakova I. S., Shcherbina L. A. Morfologiya volokon, poluchaemykh iz rastvorov promyshlennykh voloknoobrazuyushchikh sopolimerov akrilonitrila v aprotionnykh i gidrotropnykh rastvoriteleyakh [The morphology of fibers obtained from solutions of industrial fiber-forming acrylonitrile copolymers in aprotic and hydrotropic solvents]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2019, vol. 5, no. 2, pp. 53–63. doi: 10.32864/polymmattech-2019-5-2-53-66
 29. Barsukov I. A., Kruchinin N. P., Zakonodaveva N. K. Vliyanie usloviy formovaniya na prochnost' vysokomolekulyarnogo poliakrilonitril'nogo volokna [Influence of spinning conditions on the strength of high molecular weight polyacrylonitrile fiber]. *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers], 1990, no. 1, pp. 9.
 30. Rummyantseva M. V., Anisimova E. V., Fomenko B. A. Zavisimost' termomekhanicheskikh i fiziko-mekhanicheskikh svoystv poliakrilonitril'noy niti ot usloviy ee vytyagivaniya [Dependence of thermomechanical and physicochemical properties of polyacrylonitrile filament on the conditions of its stretching]. *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers], 1990, no. 1, pp. 12.
 31. Gorodnyakova I. S., Chvirov P. V., Shcherbina L. A. Izuchenie protsessa plastifikatsionnogo vytyagivaniya poliakrilonitril'nykh volokon [Study of the process of plasticizing stretching of polyacrylonitrile fibers]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i proizvodstva»* [Mat. Int. Conf. "Modern trends in the development of science and production"]. Kemerovo, 2014, vol. 3, pp. 35–37.
 32. Sapronova V. V., Gorodnyakova I. S., Chvirov P. V., Shcherbina L. A. Vytyagivanie volokon, poluchaemykh iz dimetilformamidnykh rastvorov poli[AN-so-MA-so-AMPS] [Pulling of fibers obtained from dimethylformamide solutions of poly [AN-co-MA-co-AMPS]]. *Vestnik magistratury* [Magistracy Bulletin], 2015, no. 11, pp. 52–54.
 33. Serkov A., Zlatoustova L. A. Zavisimost' prochnosti uglerodnogo volokna ot fiziko-mekhanicheskikh svoystv iskhodnogo poliakrilonitril'nogo volokna [Dependence of the strength of carbon fiber on the physical and mechanical properties of the original polyacrylonitrile fiber]. *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers], 2000, no. 4, pp. 42–43.
 34. 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.
 35. Gupta B. S., Afshari M. Tensile failure of polyacrylonitrile fibers. *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres*. Ed. A. R. Bunsell. Amsterdam : Elsevier, 2009, pp. 486–528.
 36. Gorodnyakova I. S., Chvirov P. V., Shcherbina L. A. O vliyaniy sostava plastifikatsionnoy vannы na strukturno-mekhanicheskie svoystva poliakrilonitril'nykh volokon [On the influence of the composition of the plasticizing bath on the structural and mechanical properties of polyacrylonitrile fibers]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Innovatsionnye tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti»* [Mat. Int. Conf. "Innovative technologies in the textile and light industry"]. Vitebsk, 2014, pp. 26–27.
 37. Chvirov P. V., Gorodnyakova I. S., Shcherbina L. A. Issledovanie protsessa polucheniya poliakrilonitril'nogo volokna s povyshennoy prochnost'yu [Investigation of the process of obtaining polyacrylonitrile fiber with increased strength]. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya* [Design. Materials. Technology], 2012, no. 5(25), pp. 59–63.
 38. Gorodnyakova I. S., Chvirov P. V., Shcherbina L. A., Filippenko Z. A. Ob opyte polucheniya poliakrilonitril'nykh voloknistykh materialov tekhnicheskogo naznacheniya [On the experience of obtaining polyacrylonitrile fibrous materials for technical purposes]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Noveyshie dostizheniya v oblasti importozameshcheniya v khimicheskoy promyshlennosti i proizvodstve stroitel'nykh materialov»* [Mat. Int. Conf. "The latest achievements in the field of import substitution in the chemical industry and the production of building materials"]. Minsk, 2012, pp. 237–238.