

DOI: 10.32864/polymmattech-2022-8-1-6-23

УДК 628.517.2; 534.8.081.7

АКУСТИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ И ШУМОПОНИЖАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ. ЧАСТЬ II: ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВО ВОЛОКНИСТЫХ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ (ОБЗОР)

С. Н. БУХАРОВ¹⁺, В. П. СЕРГИЕНКО¹, А. С. ТУЛЕЙКО¹, Р. ЯНКОВ², М. ДАТЧЕВА², А. АЛЕКСИЕВ²

¹Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

²Институт механики Болгарской академии наук, ул. Академика Г. Бончева, бл. 4, 1113, г. София, Болгария

Акустические композиционные материалы и технологии их получения отличаются большим разнообразием. В машиностроении и строительной отрасли особый интерес представляют звукопоглощающие композиционные материалы на основе природных и искусственных волокон. В основе производств этих материалов лежат технологии нетканых волокнистых материалов. Цель работы — обзор существующих технологий и современного оборудования для производства акустических волокнистых композиционных материалов, применяемых в шумопоглощающих конструкциях салонов транспортных средств и строительной отрасли.

Выбор технологии акустических волокнистых материалов зависит от компонентного состава и требуемой структуры композита. Анализ известных технологий показал, что большинство современных производств акустических композитов ориентировано на использование технологии аэродинамического холстообразования с термофиксацией. Базовыми компонентами соответствующего технологического оборудования являются: устройства разрыхления и смещения волокон, машины для формирования холста, термоскрепления, нарезки, намотки и разматывания, система контроля и управления, вспомогательное оборудование.

Для производства готовых шумопоглощающих изделий и конструкций из волокнистых звукопоглощающих композитов процессы термокомпрессионного формования наиболее эффективны как для материалов с терморезактивными, так и с термопластичными матрицами. Данная технология позволяет формовать детали сложной объемной конфигурации, например, крупногабаритные детали интерьеров тракторов, автомобилей, сельскохозяйственных, строительных и др. машин с необходимой конструкционной прочностью формованных деталей за счет образования «мостиков сварки» между полимерными волокнами. При этом волокнистая открыто-пористая структура материала сохраняется, что позволяет обеспечивать наряду с хорошими физико-механическими свойствами заданные акустические характеристики деталей.

В работе проанализированы особенности и перспективы дальнейшего развития технологий акустических волокнистых материалов и изделий из них.

Ключевые слова: звукопоглощающие композиты, нетканые волокнистые материалы, технологии, производство, термокомпрессионное формование.

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

ACOUSTIC COMPOSITES AND NOISE-REDUCING STRUCTURES. PART II. TECHNOLOGIES AND PRODUCTION OF FIBROUS SOUND-ABSORBING MATERIALS (A REVIEW)

S. N. BUKHAROV¹⁺, V. P. SERGIENKO¹, A. S. TULEIKA¹, R. IANKOV², M. DATCHEVA², A. ALEXIEV²

¹V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

²Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev St., block 4, 1113, Sofia, Bulgaria

There is a wide variety of acoustic composite materials and related technologies. Sound-absorbing composite materials based on natural and artificial fibers are of particular interest in mechanical engineering and the construction industry. Technologies of nonwoven fibrous materials are the basis for the production of these materials. The aim of the work was to provide an overview of existing technologies and modern equipment for the production of acoustic composite materials used for noise-reducing structures of vehicle interiors and in the building industry.

The choice of technology for acoustic fibrous materials depends on the component composition and the required structure of the composite. An analysis of known technologies has shown that most of the modern production of acoustic composites is focused on the use of aerodynamic lamination technology with thermal fixation. The basic components of the relevant processing equipment are: fiber opening and mixing devices, canvas forming section, thermal bonding, cutting, winding and unwinding machines, monitoring and control system, auxiliary equipment.

For the production of finished noise-reducing products and structures from fibrous sound-absorbing composites, thermocompression molding processes are most effective for both materials with thermosetting and thermoplastic matrices. This technology makes it possible to form parts of a complex volumetric configuration, for example, large-sized parts of the interiors of tractors, cars, agricultural, construction and other machines with the required structural strength of the molded parts due to the formation of "welding bridges" between polymer fibers. At the same time, the fibrous open-porous structure of the material is preserved, which makes it possible to provide good physical and mechanical properties in combination with the specified acoustic characteristics of the parts.

The paper analyzes the features and prospects for further development of technologies for acoustic fibrous materials and products made from them.

Keywords: sound-absorbing composites, non-woven fibrous materials, technology, production, thermocompression molding

Поступила в редакцию 15.03.2022

© С. Н. Бухаров, В. П. Сергиенко, А. С. Тулейко, Р. Янков, М. Датчева, А. Алексиев, 2022

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:

Бухаров С. Н., Сергиенко В. П., Тулейко А. С., Янков Р., Датчева М., Алексиев А. Акустические композиты и шумопонижающие конструкции. Часть II: технологии и производство волокнистых звукопоглощающих материалов (обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 1. С. 6–23. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-1-6-23>

Citation sample:

Bukharov S. N., Sergienko V. P., Tuleyko A. S., Yankov R., Datcheva M., Aleksiev A. Akusticheskie kompozity i shumoponizhayushchie konstruksii. Chast' II: tekhnologii i proizvodstvo voloknistykh zvukopogloshchayushchikh materialov (obzor) [Acoustic composites and noise-reducing structures. Part II. Technologies and production of fibrous sound-absorbing materials (a review)]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 1, pp. 6–23. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-1-6-23>

Литература

- Сергиенко В. П., Бухаров С. Н., Колесников И. В., Пронников Ю. В., Сычев А. П., Чукарин А. Н. Снижение шума и вибрации транспортных средств / под ред. И. В. Колесникова. М.: Машиностроение, 2014. 297 с.
- Бухаров С. Н., Сергиенко В. П., Кожушко В. В., Кудина Е. Ф., Тулейко А. С., Янков Р., Датчева М., Алексиев А. Акустические композиты и шумопоглощающие конструкции. Часть I. Экологически безопасные компоненты и нанонаполнители (обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 1. С. 6–22.
- Prömper E. Natural Fibre-Reinforced Polymers in Automotive Interior Applications // *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications* / ed. J. Müssig. Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, 2010, pp. 423–436.
- Asdrubali F. Green and sustainable materials for noise control in buildings // 19th International Congress on Acoustics, Madrid, 2–7 September 2007. Spain : SEA, 2007, pp. 1–6.
- New Mercedes-Benz A-Class: Environmental Certificate for the A-Class [Электронный ресурс]. URL: <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/ko/New-Mercedes-Benz-A-Class-Environmental-Certificate-for-the-A-Class.xhtml?oid=40866452> (дата обращения: 15.03.2022).
- Carus M., Gahle C., Müssig J., Huber T. Natural Fibre Injection Moulding – material with future [Электронный ресурс]. URL: http://eiha.org/media/attach/350/20-11_11-45_Gahle.pdf (дата обращения: 15.03.2022).
- Martin R. H., Giannis S., Mirza S., Hansen K. BioComposites in Challenging Automotive Applications [Электронный ресурс]. URL: <http://iccm-central.org/Proceedings/ICCM17proceedings/Themes/Industry/AUTO-%20APPLI%20&%20RECYC/A3.4%20Martin.pdf> (дата обращения: 15.03.2022).
- Environmentally friendly auto interiors. Robert Eller Associates. Consultants to the plastics and rubber industries [Электронный ресурс]. URL: https://www.robertellerassoc.com/Articles_2008/auto%20int%20060607.pdf (дата обращения: 15.03.2022).
- Hull J. L. Compression and transfer moulding // *Handbook of Plastic Processes* / ed. C. A. Harper. Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, 2006, pp. 455–474.
- Castro J. M., Griffith R. M. Sheet molding compound compression-molding flow // *Polym. Eng. Sci.*, 1989, vol. 29, no. 10, pp. 632–638.
- Clemons C. Wood-plastic composites in the United States: the interfacing of two industries // *Forest products journal*, 2002, vol. 52, no. 10, pp. 10–18.
- Fakirov S., Bhattacharyya D. *Handbook of Engineering Biopolymers: Homopolymers, Blends, and Composites*. Munich : Hanser Publ., 2007. 896 p.
- Биополимеры что это, описание, прогнозы, применение [Электронный ресурс]. URL: <https://poliamid.ru/blog/biopolimery-cto-eto-opisanije-prognozy-primeneniye-27.html> (дата обращения: 17.02.2022)
- Beckmann A., Kleinholz R. Prospects and risks of natural fibres for automotive interior parts // 2nd International Symposium on Materials from Renewable Resources. Erfurt, Germany, 1999.
- Baley C. Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase // *Compos. Part A: Appl. Sci. Mfg*, 2002, vol. 33, is. 7, pp. 939–948. doi: 10.1016/S1359-835X(02)00040-4
- Pan N. C., Day A., Mahalanabis K. K. Properties of jute – an overview of jute from fibre to application // *Indian Text. J.*, 2000, vol. 110, is. 5, pp. 16–23.
- Rowell R. M., Stout H. P. Jute and kenaf // *Handbook of Fiber Chemistry* / eds.: M. Lewin, E. M. Pearce. 2nd ed., rev. and expanded. New York : Marcel Dekker, 1998, pp. 465–504.
- Brandhorst J., Spritzendorfer J., Gildhorn K. *Dämmstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen*. Gülzow, Germany : Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe (FNR), 2006. 72 c.
- Mwaikambo L. Y., Ansell M. P. Mechanical properties of alkali treated plant fibres and their potential as reinforcement materials II. Sisal fibres // *J. Mater. Sci.*, 2006, vol. 41, pp. 2497–2508. doi: 10.1007/S10853-006-5075-4
- Mwaikambo L. Y., Ansell M. P. Mechanical properties of alkali treated plant fibres and their potential as reinforcement materials. I. Hemp fibres // *J. Mater. Sci.*, 2006, vol. 41, is. 8, pp. 2483–2496. doi: 10.1007/s10853-006-5098-x
- Schüssler A. Automobilinnenteile aus Naturfaservliesen // *Kunststoffe*, 1998, vol. 88, is. 7, pp. 1006–1008.
- Hoogen N. Flax fiber reinforced PP components in large serie // *Kunststoffe Int.*, 1999, vol. 89, pp. 103–106.
- Abdelmouleh M., Boufi S., Belgacem M. N., Dufresne A. Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites: Effect of silane coupling agents and fibres loading // *Compos. Sci. Technol.*, 2007, vol. 67, is. 7-8, pp. 1627–1639. doi: 10.1016/j.compscitech.2006.07.003
- Плеханов А. Ф., Битус Е. И., Виноградова Н. А., Першукова С. А., Братченя Ю. В. Инновационные технологии нетканых материалов // *Полимерные материалы. Изделия. Оборудование. Технологии*. 2019. № 2. С. 30–34.
- Müller W. W., Saathoff F. Geosynthetics in geoenvironmental engineering // *Science and Technology of Advanced Materials*, 2015, vol. 16, is. 3. doi: 10.1088/1468-6996/16/3/034605
- Ульвачева Л. А., Бешапошникова В. И., Жагина И. Н., Кирсанова Е. А., Змеева Е. Д., Некрасова Н. В. Анализ ассортимента многослойных текстильных материалов и разработка их классификации // *Дизайн и технологии*. 2014. № 44 (86). С. 71–78.
- Плеханов А. Ф., Битус Е. И., Носкова С. А. К вопросу о классификации технологий изготовления современных нетканых текстильных наноматериалов // *Современные проблемы развития текстильной и легкой промышленности: материалы международной научно-технической конференции: кн. 4. Нетканые материалы*. М.: МГУТУ имени К. Г. Разумовского, 2012. С. 162–164.
- Плеханов А. Ф., Битус Е. И., Першукова С. А., Виноградова Н. А. Исследование текстильных технологий для изготовления нетканых материалов медицинского назначения // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 4 (370). С. 161–168.
- Nonwoven exceed market speed with jetlace // Andritz. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.andritz.com/products-en/group/nonwoven>

- textile/spunlace-line-nonwoven-and-textile (дата обращения: 17.02.2022).
30. Laroche [Электронный ресурс]. URL: www.laroche.fr (дата обращения: 07.02.2022)
 31. Нижибидики О. Современное оборудование для производства нетканых материалов // ЛегПромБизнес : информационный портал. 2012 [Электронный ресурс]. URL: <http://legprom.net/?id=1357> (дата обращения: 17.02.2022).
 32. Truetzschler Nonwovens [Электронный ресурс]. URL: <http://www.truetzschler-nonwovens.de>. (дата обращения: 10.02.2022)
 33. Bematic [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bematic.it> (дата обращения: 21.02.2022).
 34. Bombi Meccanica S.r.l. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bombimeccanica.com> (дата обращения: 10.02.2022).
 35. Bonino 1913 carding machines S.R.L. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bonino1913.com> (дата обращения: 21.02.2022).
 36. Masias Maquinaria [Электронный ресурс]. URL: <http://www.masias.com> (дата обращения: 21.02.2022).
 37. Margasa [Электронный ресурс]. URL: <http://www.margasa.com> (дата обращения: 21.02.2022).
 38. Dilo GROUP [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dilo.de> (дата обращения: 21.02.2022).
 39. Changshu Weicheng Nonwoven Machinery Co., Ltd. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chinaweicheng.cn> (дата обращения: 21.02.2022).
 40. Sail Nonwoven Machines [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nonwoven-machinery.com> (дата обращения: 21.02.2022).
 41. Changzhou Jinyi Machinery Co., Ltd. [Электронный ресурс]. URL: <http://en.jinyimachinery.com> (дата обращения: 10.02.2022).
 42. DongYang Aolong Non-woven Equipment Co., Ltd. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.alnonwoven.com/> (дата обращения: 12.03.2022).
 43. A.Celli [Электронный ресурс]. URL: <http://www.acelli.it> (дата обращения: 21.02.2022).
 44. Dell'Orco & Villani [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dellorco-villani.it> (дата обращения: 21.02.2022).
 45. Cormatex [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cormatex.it> (дата обращения: 21.02.2022).
 46. Biancalani [Электронный ресурс]. URL: <https://www.biancalani.com> (дата обращения: 21.02.2022).
 47. OMMI [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ommi.it> (дата обращения: 21.02.2022).
 48. Schott & Meissner Maschinen- und Anlagenbau GmbH [Электронный ресурс]. URL: <http://www.schott-meissner.de> (дата обращения: 17.02.2022).
 49. Camozzi Group [Электронный ресурс]. URL: <https://it.camozzigroup.com> (дата обращения: 21.02.2022).
 50. Термобонд [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lentex.pl/ru/termozgrzewalne-plaskie/> (дата обращения: 21.02.2022).
 51. Способы и технологии изготовления нетканых материалов // Полилайн: компания. 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.polyline.ru/articles/sposoby-i-tehnologii-izgotovleniya-netkanyh-materialov>. (дата обращения: 15.02.2022).
 52. Patent 3730684EP. Nonwoven fabric and composite sound-absorbing material using same as skin material / Yamamuro Shinya, Obi Rumi-na, Kato Kazufumi, Tanaka Tomoya, Okamura Chie, Isono Yasushi, Saito Junk; date of publication 02.02.2022, Bulletin 2022/05.
 53. Битус Е. И., Зайцев А. И. Метод и программа для определения и оптимизации технико-экономических показателей производства нетканых материалов по технологии «Спанлейс» [Электронный ресурс]. Москва : РосЗИТЛП, 2009. 1 электрон. опт. диск (CD-R).
 54. Handbook of nonwovens / ed. S. J. Russell. Boca Raton [et al.] : CRC ; Cambridge : Woodhead Publ., 2007. 545 p.
 55. Шеромова И. А. Текстильные материалы: получение, строение, свойства : учебное пособие. Владивосток : ВГУЭС, 2006. 220 с.
 56. Нетканые материалы по технологии Струтто [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ultratkan.ru/poleznye-stati/article72/> (дата обращения: 15.02.2022).
 57. Спанлейс: технология, свойства, применение. [Электронный ресурс]. URL: https://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=336 (дата обращения: 16.03.2022).
 58. Зимина Е. Л., Ульянова Н. В., Ващенко О. Д. Разработка технологии производства шумоизоляционных материалов с использованием отходов // Химические волокна. 2020. № 5. С. 43–45.
 59. Сергеев А. П. Современные тенденции развития промышленности нетканых материалов // Полимерные материалы. 2015. № 2. С. 34–39.
 60. Before the ITMA – a look at the world of nonwovens // Allgemeiner Vliesstoff-Report, 2015, no. 5, pp. 112–115
 61. Дятлова П. А. Исследование динамических характеристик привода игольного стола с целью снижения виброактивности многосекционных иглопробивных машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13. СПб., 2004. 16 с.

References

1. Sergienko V. P., Bukharov S. N., Kolesnikov I. V., Pronnikov Yu. V., Sychev A. P., Chukarin A. N. *Snizhenie shuma i vibratsii transportnykh sredstv* [Reduction of Noise and Vibration in Vehicles]. Moscow : Mashinostroenie Publ., 2014. 296 p.
2. Bukharov S. N., Sergienko V. P., Kozhushko V. V., Kudina E. F., Tuleika A. S., Iankov R., Datcheva M., Alexiev A. Akusticheskie kompozity i shumoponizhayushchie konstrukcii. Chast' I. Ekologicheski bezopasnye komponenty i nanopolnители (obzor) [Acoustic composites and noise-reducing structures. Part I. Environmentally friendly components and nanofillers (a review)]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 1, pp. 6–22.
3. Prömpfer E. Natural Fibre-Reinforced Polymers in Automotive Interior Applications. *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*. Ed. J. Müssig. Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, 2010, pp. 423–436.
4. Asdrubali F. Green and sustainable materials for noise control in buildings. *19th International Congress on Acoustics*. Spain : SEA, 2007, pp. 1–6.
5. New Mercedes-Benz A-Class: Environmental Certificate for the A-Class. Available at: <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/ko/New-Mercedes-Benz-A-Class-Environmental-Certificate-for-the-A-Class.xhtml?oid=40866452> (accessed 15.03.2022).
6. Carus M., Gahle C., Müssig J., Huber T. Natural Fibre Injection Moulding - material with future. Available at: http://eiha.org/media/attach/350/20-11_11-45_Gahle.pdf (accessed 15.03.2022).
7. Martin R.H., Giannis S., Mirza S. and K. Hansen. BioComposites in Challenging Automotive Applications. Available at: <http://iccmcentral.org/Proceedings/ICCM17proceedings/Themes/Industry/AUTO%20APPL%20&%20RECYC/A3.4%20Martin.pdf> (accessed 15.03.2022).
8. Environmentally friendly auto interiors. Robert Eller Associates. Consultants to the plastics and rubber industries. Available at: https://www.robertellerassoc.com/Articles_2008/auto%20int%20060607.pdf (accessed: 15.03.2022).
9. Hull J. L. Compression and transfer moulding. *Handbook of Plastic Processes*. Ed. C. A. Harper. Hoboken, NJ, USA : JohnWiley & Sons, 2006, pp. 455–474.
10. Castro J. M., Griffith R. M. Sheet molding compound compression-molding flow. *Polym. Eng. Sci.*, 1989, vol. 29, no. 10, pp. 632–638.
11. Clemons C. Wood-plastic composites in the United States: the interfacing of two industries. *Forest products journal*, 2002, vol. 52, no. 10, pp. 10–18.
12. Fakirov S., Bhattacharyya D. Handbook of Engineering Biopolymers: Homopolymers, Blends, and Composites. Munich : Hanser Publ., 2007. 896 p.

13. Biopolimery chto eto, opisaniye, prognozy, primeneniye [Biopolymers what is it, description, forecasts, application]. Available at: <https://poliamid.ru/blog/biopolimery-chto-eto-opisaniye-prognozy-primeneniye-27.html> (accessed 17.02.2022).
14. Beckmann A., Kleinholz R. Prospects and risks of natural fibres for automotive interior parts. *2nd International Symposium on Materials from Renewable Resources*. Erfurt, Germany, 1999.
15. Baley C. Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase. *Compos. Part A: Appl. Sci. Mfg.*, 2002, vol. 33, is. 7, pp. 939–948. doi: 10.1016/S1359-835X(02)00040-4
16. Pan N. C., Day A., Mahalanabis K. K. Properties of jute – an overview of jute from fibre to application. *Indian Text. J.*, 2000, vol. 110, is. 5, pp. 16–23.
17. Rowell R. M., Stout H. P. Jute and kenaf. *Handbook of Fiber Chemistry*. Eds.: M. Lewin, E. M. Pearce. 2nd ed., rev. and expanded. New York : Marcel Dekker, 1998, pp. 465–504.
18. Brandhorst J., Spritzendorfer J., Gildhorn K. *Dämmstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen*. Gülzow, Germany : Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe (FNR), 2012. 72 p.
19. Mwaikambo L. Y., Ansell M. P. Mechanical properties of alkali treated plant fibres and their potential as reinforcement materials II. Sisal fibres. *J. Mater. Sci.*, 2006, vol. 41, pp. 2497–2508. doi: 10.1007/S10853-006-5075-4
20. Mwaikambo L. Y., Ansell M. P. Mechanical properties of alkali treated plant fibres and their potential as reinforcement materials. I. Hemp fibres. *J. Mater. Sci.*, 2006, vol. 41, is. 8, pp. 2483–2496. doi: 10.1007/s10853-006-5098-x
21. Schüssler A. Automobilinnenteile aus Naturfaservliesen. *Kunststoffe*, 1998, vol. 88, is. 7, pp. 1006–1008.
22. Hoogen N. Flax fiber reinforced PP components in large serie. *Kunststoffe Int.*, 1999, vol. 89, pp. 103–106.
23. Abdelmouleh M., Boufi S., Belgacem M. N., Dufresne A. Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites: Effect of silane coupling agents and fibres loading. *Compos. Sci. Technol.*, 2007, vol. 67, is. 7-8, pp. 1627–1639. doi: 10.1016/j.compscitech.2006.07.003
24. Plekhanov A. F., Bitus E. I., Vinogradova N. A., Pershukova S. A., Bratchenya Yu. V. Innovacionnye tekhnologii netkanykh materialov [Innovative nonwoven technology]. *Polimernye materialy. Izdeliya. Oborudovanie. Tekhnologii* [Polymer materials. Products, equipment, technology], 2019, no. 2, pp. 30–34.
25. Müller W. W., Saathoff F. Geosynthetics in geoenvironmental engineering. *Science and Technology of Advanced Materials*, 2015, vol. 16, is. 3. doi: 10.1088/1468-6996/16/3/034605
26. Ul'vacheva L. A., Besshaposhnikova V. I., Zhagrina I. N., Kirsanova Ye. A., Zmeyeva Ye. D., Nekrasova N. V. Analiz assortimenta mnog-osloynnykh tekstil'nykh materialov i razrabotka ikh klassifikatsii [Analysis of the range of multilayer textile materials and the development of their classification]. *Dizayn i tekhnologii* [Design and technology], 2014, no. 44 (86), pp. 71–78.
27. Plekhanov A. F., Bitus E. I., Noskova S. A. K voprosu o klassifikatsii tekhnologiy izgotovleniya sovremennykh netkanykh tekstil'nykh nanomaterialov [On the classification of manufacturing technologies for modern non-woven textile nanomaterials]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sovremennyye problemy razvitiya tekstil'noj i legkoj promyshlennosti»*. Kniga 4. *Netkanye materialy* [Materials of the international scientific and technical conference “Modern problems of development of the textile and light industry”. Book. 4. Nonwovens]. Moscow : MGUTU Publ., 2012, pp. 162–164.
28. Plekhanov A. F., Bitus E. I., Pershukova S. A., Vinogradova N. A. Issledovanie tekstil'nykh tekhnologiy dlya izgotovleniya netkanykh materialov medicinskogo naznacheniya [Study of textile technologies for the manufacture of medical nonwovens]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of Universities. Technology of textile Industry], 2017, no. 4 (370), pp. 161–168.
29. Nonwoven exceed market speed with jetlace. Available at: <https://www.andritz.com/products-en/group/nonwoven-textile/spunlace-line-nonwoven-and-textile> (accessed 17.02.2022).
30. Laroche. Available at: <http://www.laroche.fr> (accessed 07.02.2022).
31. Nizhibitskiy O. Sovremennoye oborudovanie dlya proizvodstva netkanykh materialov [Modern equipment for the production of nonwovens]. Available at: <http://legprom.net/?id=1357> (accessed 17.02.2022).
32. Truetzschler Nonwovens. Available at: <http://www.truetzschler-nonwovens.de> (accessed 10.02.2022).
33. Bematic. Available at: <http://www.bematic.it> (accessed 21.02.2022).
34. Bombi Meccanica S.r.l. Available at: <https://bombimeccanica.com> (accessed 10.02.2022).
35. Bonino 1913 carding machines S.R.L. Available at: <http://www.bonino1913.com> (accessed 21.02.2022).
36. Masias Maquinaria. Available at: <http://www.masias.com> (accessed 21.02.2022).
37. Margasa. Available at: <http://www.margasa.com> (accessed 21.02.2022).
38. Dilo GROUP. Available at: <http://www.dilo.de> (accessed 21.02.2022).
39. Changshu Weicheng Nonwoven Equipment Co., Ltd. Available at: <http://www.chinaweicheng.cn> (accessed 21.02.2022).
40. Sail Nonwoven Machinery Co., Ltd. Available at: <http://www.nonwoven-machinery.com> (accessed 21.02.2022).
41. Changzhou Jinyi Machinery Co., Ltd. Available at: <http://en.jinyimachinery.com> (accessed 10.02.2022).
42. DongYang Aolong Non-woven Equipment Co., Ltd. Available at: <https://www.alnonwoven.com/> (accessed 21.02.2022).
43. A.Celliio Available at: <http://www.acelli.it> (accessed 21.02.2022).
44. Dell'Orco & Villani Available at: <http://www.dellorco-villani.it> (accessed 21.02.2022).
45. Cormatex. Available at: <http://www.cormatex.it> (accessed 21.02.2022).
46. Biancalani. Available at: <https://www.biancalani.com> (accessed 10.02.2022).
47. OMMI. Available at: <http://www.ommi.it> (accessed 21.02.2022).
48. Schott & Meissner Maschinen- und Anlagenbau GmbH. Available at: <http://www.schott-meissner.de> (accessed 17.02.2022).
49. Camozzi Group. Available at: <https://it.camozzigroup.com> (accessed 21.02.2022).
50. Termobond [Thermobond]. Available at: <https://www.lentex.pl/ru/termozgrzewalne-plaskie/> (accessed 21.02.2022).
51. Sposoby i tekhnologii izgotovleniya netkanykh materialov [Methods and technologies of nonwoven materials]. Available at: <https://www.polyline.ru/articles/sposoby-i-tehnologii-izgotovleniya-netkanykh-materialov>. (accessed 15.02.2022).
52. Yamamuro Shinya, Obi Rumina, Kato Kazufumi, Tanaka Tomoya, Okamura Chie, Isono Yasushi, Saito Junk. Nonwoven fabric and composite sound-absorbing material using same as skin material. Patent EP, no. 3730684.
53. Bitus E. I., Zajcev A. I. *Metod i programma dlya opredeleniya i optimizatsii tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelej proizvodstva netkanykh materialov po tekhnologii «Spanlejs»* [Method and program for determining and optimizing the technical and economic indicators of the production of nonwoven materials using the Spunlace technology]. Moscow : RosZITLP Publ., 2009. 1 elektron. opt. disk (CD-R).
54. *Handbook of nonwovens*. Ed. S. J. Russell. Boca Raton [et al.] : CRC ; Cambridge : Woodhead Publ., 2007. 545 p.
55. Sheromova, I.A. *Tekstil'nyye materialy: polucheniye, stroeniye, svoystva* [Textile materials: obtaining, structure, properties]. Vladivostok : VGUES Publ., 2006. 220 p.
56. Netkanye materialy po tekhnologii strutto [Strutto nonwovens]. Available at: <https://www.ultratkan.ru/poleznye-stati/article72/> (accessed 15.02.2022).
57. Spanlejs: tekhnologiya, svoystva, primeneniye [Spunlace: technology, properties, application]. Available at: <https://www.->

- newchemistry.ru/letter.php?n_id=336 (accessed 16.02.2022).
58. Zimina E. L., Ul'yanova N. V., Vashchenko O. D. Razrabotka tekhnologii proizvodstva shumozolyacionnykh materialov s ispol'zovaniem othodov [Development of technology for the production of noise-insulating materials using waste]. *Khimicheskie volokna* [Fibre Chemistry], 2020, no. 5, pp. 43–45.
 59. Sergeynkov A. P. Sovremennyye tendentsii razvitiya promyshlennosti netkanykh materialov [Modern trends in the development of the nonwovens industry]. *Polimernye materialy. Izdeliya. Oborudovanie. Tehnologii* [Polymer materials. Products, equipment, technology], 2015, no. 2, pp. 34–39.
 60. Before the ITMA – a look at the world of nonwovens. *Allgemeiner Vliesstoff-Report*, 2015, no. 5, pp. 112–115
 61. Dyatlova P. A. Issledovanie dinamicheskikh kharakteristik privoda igol'nogo stola s tsel'yu snizheniya vibroaktivnosti mnogosektsionnykh igloprobivnykh mashin. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Investigation of the dynamic characteristics of the needle table drive in order to reduce the vibration activity of multi-section needle-punching machines. PhD eng. sci. diss. abstract]. Saint-Petersburg, 2004. 16 p.