

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-6-23>

УДК 614.894.3:678.027.32

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТЫХ ФИЛЬТРОВ В СОСТАВЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ COVID-19

В. Ю. ШУМСКАЯ⁺, П. Н. ГРАКОВИЧ, С. В. ЗОТОВ, В. М. ШАПОВАЛОВ, А. Я. ГРИГОРЬЕВ

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

Работа посвящена обсуждению вопроса фильтрации воздуха в средствах индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) с помощью полимерных волокнисто-пористых материалов и их комбинаций. Защита дыхательных путей человека осуществляется с помощью лицевых масок и респираторов, рабочим компонентом которых является «воздушный фильтр» — фильтрующий слой из волокнисто-пористого материала. Последний должен пропускать вдыхаемый воздух, захватывая и осаждая на волокнах или в межпоровом пространстве частицы загрязнений. Цель работы — обзор наиболее значимых технических решений по созданию фильтрующих материалов для очистки воздуха в СИЗОД, а также анализ перспектив дальнейшего развития данного научно-прикладного направления, важного как для полимерного материаловедения, так и для решения задач профилактики и гигиены бактериально-вирусных заболеваний. Перечислены основные достоинства и недостатки полимерных материалов для воздушных фильтров, включая фильтры Петрянова, пневмоэкструзионные материалы из полиолефинов, полученные лазерной абляцией волокнисто-пористые системы из фторполимеров, нетканые иглопробивные материалы класса ФИБАН. Обсуждено состояние рынка средств индивидуальной защиты органов дыхания в Республике Беларусь. Предложены принципы создания комбинированной многоуровневой фильтрующей среды, в которой достоинства разных типов волокнисто-пористых систем взаимно дополняются.

Ключевые слова: волокнисто-пористые материалы, полимеры, электростатный заряд, многоуровневая фильтрующая среда.

TRENDS AND PROSPECTS USING OF POLYMER FIBROUS POROUS FILTERS IN PERSONAL RESPIRATORY PROTECTION EQUIPMENT TO PREVENT THE COVID-19 VIRUS INFECTION

V. YU. SHUMSKAYA⁺, P. N. GRAKOVICH, S. V. ZOTOV, V. M. SHAPOVALOV, A. YA. GRIGORIEV

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

The paper is devoted to discussion of air filtration into personal respiratory protective equipment using polymer fibrous porous materials and their combinations. The protection of human respiratory organs is carried out with the help of face masks and respirators, the components of which is the so-called “air filter” is a filter layer from fibrous porous material. After pass the inhaled air, this layer must capturing and depositing contaminant particles on the fibers or in the fibrous porous space. The purpose of work is review for the most significant technical know-how about made of filtering materials for air purification in the personal

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: viktoriya-shumsk@mail.ru

respiratory protective equipment. It is analyzed the prospects for further development of this scientific and applied areas, which is important both for polymer materials science and for solving problems about prevention and hygiene of bacterial and viral diseases. The main advantages and disadvantages of polymer materials for air filters, including Petryanov filters, melt-blown materials from polyolefins, fiber-porous systems from fluoropolymers obtained with laser ablation, non-woven needle-punched materials of the FIBAN class are enumerated. The market state of personal respiratory protection equipment in the Republic of Belarus is discussed. The principles of creating a combined multilevel filtering medium are proposed, in which the advantages of different types of fibrous porous systems are mutually complemented.

Keywords: fibrous porous materials, polymers, electret charge, multilevel filtering medium.

Поступила в редакцию 06.06.2022

© В. Ю. Шумская, П. Н. Гракович, С. В. Зотов, В. М. Шаповалов, А. Я. Григорьев, 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:

Шумская В. Ю., Гракович П. Н., Зотов С. В., Шаповалов В. М., Григорьев А. Я. Тенденции и перспективы использования полимерных волокнисто-пористых фильтров в составе средств индивидуальной защиты органов дыхания для пре-дупреждения вирусной инфекции COVID-19 // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 3. С. 6–23. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-6-23>

Citation sample:

Shumskaya V. Yu., Grakovich P. N., Zotov S. V., Shapovalov V. M., Grigor'ev A. Ya. Tendentsii i perspektivy ispol'zovaniya polimernykh voloknistno-poristykh fil'trov v sostave sredstv individual'noy zashchity organov dykhaniya dlya preduprezhdeniya virusnoy infektsii COVID-19 [Trends and prospects using of polymer fiber-porous filters in personal respiratory protection equipment to prevent the COVID-19 virus infection]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 3, pp. 6–23. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-6-23>

Литература

1. Петрянов И. В., Козлов В. И., Басманов П. И., Огородников Б. И. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. М.: Знание, 1968. 79 с.
2. Филатов Ю. Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФМ-процесс). М.: Нефть и газ, 1997. 297 с.
3. Петрянов И. В., Кошечев В. С., Басманов П. И., Борисов Н. Б., Гольдштейн Д. С., Шатский С. Н. «Лепесток». Легкие респираторы. М.: Наука, 1984. 216 с.
4. Кравцов А. Г., Марченко С. А., Зотов С. В., Станкевич В. М., Наумов А. Д. Полимерные волокнисто-пористые фильтрующие материалы. Гомель: БелГУТ, 2012. 319 с.
5. Patent 4007114A US, IPC B 01 D 13/00. Fibrous filter medium and process / Eugene A. Ostreicher; AMF Incorporated Feb. N 597931; appl. 22.07.1975; publ. 08.02.1977 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/US4007114A/en> (дата обращения: 22.02.2021).
6. Patent 4536440A US, IPC B 32 B 5/06. Molded fibrous filtration products / Harvey J. Berg; Minnesota Mining and Manufacturing Company. N 593937; appl. 27.03.1984; publ. 20.08.1985 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/US4536440A/en> (дата обращения: 22.02.2021).
7. Patent 4807619A US, IPC A 62 B 7/10. Resent shape-retaining fibrous filtration face mask / James F. Dyrod, Harvey J. Berg, Alice C. Murray; Minnesota Mining and Manufacturing Company. N 848757; appl. 07.04.1986; publ. 28.02.1989 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/US4807619A/en> (дата обращения: 22.02.2021).
8. Patent 5307796A US, IPC A 62 B 7/10. Methods of forming fibrous filtration face masks / Joseph P. Kronzer, Roger J. Stumo, Coon Rapids, James F. Dyrod, Stanton Township, Harvey J. Berg; Minnesota Mining and Manufacturing Company. N 632964; appl. 20.12.1990; publ. 03.05.1994 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/US5307796A/en> (дата обращения: 22.02.2021).

9. Patent 5804295A US, IPC B 32 B 5/16. Fibrous filtration face mask having corrugated polymeric microfiber filter layer / David L. Braun, James E. Steffen; Minnesota Mining and Manufacturing Company. N 807261; appl. 28.02.1997; publ. 08.09.1998 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/US5804295A/en> (дата обращения: 22.02.2021).
10. Patent Application Publication 20100266824A1 US, IPC B 32 B 7/02, B 32 B 27/08, B 29 C 39/20. Elastic meltblown laminate constructions and methods for making same / Alistair Duncan Westwood, Galen Charles Richeson; ExxonMobil Chemical Company. N 723336; appl. 12.03.2010; publ. 21.10.2010 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/US20100266824A1/en> (дата обращения: 22.02.2021).
11. Patent 9498932B2 US, IPC B 32 B 5/26, B 32 B 5/06. Multi-layered meltblown composite and methods for making same / Galen C. Richeson, Alistair D. Westwood; ExxonMobil Chemical Patents Inc. N 894955; appl. 30.09.2010; publ. 22.11.2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/US9498932B2/en> (дата обращения: 22.02.2021).
12. Patent 104854269B CN, IPC D 04 H 1/4382, D 04 H 1/4391, D 04 H 1/72. Elastic force and concentrate the meltblown fiber web and its manufacturing method that power is improved / Li Xianzhuyang, He Jiang; Jixu Models, Kui Sikkim Changxian. N 201380003583.7; appl. 18.10.2013; publ. 02.04.2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/CN104854269B/en> (дата обращения: 22.02.2021).
13. Patent 5579437B2 JP, IPC D 04 H 3/16, D 04 H 3/016, B 01 D 39/16. Monocomponent single layer meltblown web and meltblowing equipment / John Em Brandner, William Jay Kopeckisade, Aye Angadj, Band James E.; Springer Timothy Jay Lindquist. N 2009-522929; appl. 18.07.2009; publ. 27.08.2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/JP5579437B2/en> (дата обращения: 22.02.2021).
14. Patent 9194060B2 US, IPC D 04 H 3/16, D 01 F 6/30. Polyolefin-based elastic meltblown fabrics / Alistair Duncan Westwood; ExxonMobil Chemical Patents Inc. N 475280; appl. 18.05.2012; publ. 24.11.2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/US9194060B2/en> (дата обращения: 22.02.2021).
15. Шустов В. П. Разработка и исследование новых методов получения машиностроительных материалов и покрытий из полимеров : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.02.01. Минск, 1975. 22 с.
16. Ставрова Т. В. Разработка и исследование волокнисто-пористых материалов, получаемых распылением полимерных расплавов : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.02.01. Минск, 1983. 21 с.
17. Гольдаде В. А., Макаревич А. В., Пинчук Л. С., Сиканевич А. В., Чернорубашкин А. И. Полимерные волокнистые melt-blown материалы. Гомель : ИММС НАНБ, 2000. 260 с.
18. Кравцов А. Г., Гольдаде В. А., Зотов С. В. Полимерные электретын материалы для защиты органов дыхания. Гомель : ИММС НАНБ, 2003. 204 с.
19. Патент 2198718 РФ, МПК В 01 D 39/16, А 62 В 23/02. Способ получения электретоного тонковолокнистого фильтрующего материала для респираторов / Кравцов А. Г., Воробьев А. В., Пинчук Л. С., Гольдаде В. А., Громыко Ю. В.; заявитель и патентообладатель ИММС НАН Беларуси. N 201126627; заявл. 01.10.2001; опубл. 20.02.2003, Бюл. N 5. 10 с.
20. Патент 2262376 РФ, МПК В 01 D 39/16. Слоистый полимерный волокнистый фильтрующий материал для очистки потока воздуха / Кравцов А. Г., Зотов С. В.; заявитель и патентообладатель ИММС НАН Беларуси. N 2004127597; заявл. 14.09.2004; опубл. 20.10.2005, Бюл. N 29. 7 с.
21. Патент 10977 РБ, МПК В 01 D 39/16. Двухслойный полимерный волокнистый фильтрующий материал для очистки потока воздуха / Кравцов А. Г., Зотов С. В.; заявитель и патентообладатель ИММС НАН Беларуси. N 20040774; заявл. 16.08.2004; опубл. 30.08.2008, Бюл. N 3. 6 с.
22. Зотов С. В. Волокнистые электретын материалы на основе полиолефинов для средств индивидуальной защиты органов дыхания : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.02.01. Минск, 2006. 21 с.
23. Патент 17587 РБ, МПК D 01F 8/06, D 01 F 8/12. Способ получения полимерного электретоного волокнистого материала / Кравцов А. Г., Овчинников К. В., Зотов С. В.; заявитель и патентообладатель ИММС НАН Беларуси. N 20110852; заявл. 16.06. 2011, опубл. 20.06.2013, Бюл. N 2. 6 с.
24. Гольдаде В. А., Зотов С. В., Кравцов А. Г., Рычков А. А., Кузнецов А. Е., Трифонов С. А., Темнов Д. Э. Электретоный эффект в волокнистых полимерных материалах, модифицированных трихлоридом фосфора // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2009. N 11 (79). С. 76–89.
25. Овчинников К. В., Кравцов А. Г., Зотов С. В., Гольдаде В. А. Электретоный эффект в пленках и волокнах из смесей полимеров // Материалы. Технологии. Инструменты. 2012. Т. 17, N 3. С. 61–65.
26. Макаревич А. В., Пинчук Л. С., Гольдаде В. А. Электрические поля и электроактивные материалы в биотехнологии и медицине. Гомель : ИММС НАНБ, 1998. 106 с.
27. Гракович П. Н. Иванов Л. Ф., Калинин Л. А., Рябченко И. Л., Толстопятов Е. М., Красовский А. М. Лазерная абляция политетрафторэтилена // Российский химический журнал. 2008. Т. 52, N 3. С. 97–105.
28. Толстопятов Е. М. Физические закономерности диссоциативного формирования тонких полимерных покрытий: дис. докт. техн. наук : 01.04.07. Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2006. 263 с.
29. Толстопятов Е. М., Гракович П. Н. Комплексная модель абляции политетрафторэтилена излучением CO₂ лазера в вакууме // Полимерные композиты и трибология («Поликомтриб-2005»): тезисы докладов междунар. науч.-техн. конф. / ИММС НАН Беларуси. Гомель, 2005. С. 47–48.
30. Ольхов Ю. А., Алляров С. Р., Толстопятов Е. М., Гракович П. Н., Калинин Л. А., Добровольский Ю. А., Диксон Д. А. Влияние непрерывного излучения CO₂-лазера на термические и молекулярно-топологические свойства политетрафторэтилена // Химия высоких энергий. 2010. Т. 44, N 1. С. 65–76.
31. Рябченко И. Л., Толстопятов Е. М., Гракович П. Н., Иванов Л. Ф. Электрофизическое состояние волокнисто-пористого слоя, формируемого при лазерной абляции политетрафторэтилена в вакууме // Материалы. Технологии. Инструменты. 2004. Т. 9, N 4. С. 70–73.
32. Бойнович Л. Б., Бузник В. М., Гракович П. Н., Грязнов В. И., Пашинин А. С., Юрков Г. Ю. Создание и модифицирование супергидрофобных материалов на основе волокнистого политетрафторэтилена // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462, N 4. С. 431–434. doi: 10.7868/S0869565215160124
33. Поликарпов А. П., Шункевич А. А. Волокнистые иониты ФИБАН, получение и применение // Тенденции интеграции образования, науки и бизнеса: сборник материалов Белорусско-Литовской биржи деловых контактов (27–28 ноября 2014 г.). Минск : БНТУ, 2014. С. 82–84.
34. Патент 16527 РБ, МПК В 01 J 20/22, В 01 J 20/26, В 01 J 20/32, С 02 F 1/28, С 02 F 1/42. Бицидный полимерный сорбент / Иванова Н. А., Тарасевич В. А., Поликарпов А. П., Глоба И. Ю., Белясова Н. А., Агабеков В. Е., Кулевская И. В., Космачева Т. Г., Шункевич А. А.; заявители и патентообладатели ИХНМ НАН Беларуси, ИФОХ НАН Беларуси. N 20101803; заявл. 14.12.2010; опубл. 30.12.2012, Бюл. N 4. 5 с.
35. Дьяконова О. В., Амвросьева Т. В., Поклонская Н. В., Шункевич А. А., Акулич З. И., Солдатов В. С. Волокнистые ионообменные материалы как эффективные адсорбенты для концентрирования присутствующих в воде вирусов // Медицинские новости. 2001. N 11. С. 76–77.
36. Амвросьева Т. В., Казинец О. Н., Поклонская Н. В., Барановская Н. Н., Поликарпов А. П. Алгоритм санитарно-вирусологического контроля объектов среды обитания человека // Современные проблемы инфекционной патологии человека : сборник научных трудов : вып. 7 / под ред. Л. П. Титова. Минск : ГУ РНМБ, 2014. С. 16–20.

37. Письмо-разъяснение Госстандарта Республики Беларусь от 11.04.2020 № 05-11/493. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://gosstandart.gov.by/assets/files/News/2020.04.11/TRTS017.pdf> (дата обращения: 22.04.2021).
38. В Беларуси увеличат производство респираторов. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.belta.by/economics/view/v-belarusi-uvlechit-proizvodstvo-respiratorov-384504-2020/2020> (дата обращения: 22.04.2020).
39. Одноразовые медицинские маски // ЧПУП «Дом моды Тамара». 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://dm-tamara.by/?yclid=2565375782737704714> (дата обращения: 22.04.2021).
40. Маски и респираторы // ООО «Интерлок». 2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://interlok.by/> (дата обращения: 22.04.2021).
41. ООО «КитГрупп». 2021 [Электронный ресурс]. URL: https://kitgroup.by/?post_type=product (дата обращения: 05.05.2021).
42. Маски KN 95 // ООО «Белсеттика». 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://belsettica.by/catalog/?q=Маски+KN95/> (дата обращения: 05.05.2021).
43. [Средства индивидуальной защиты] // ООО «Ика». 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://ika-sib.ru/> (дата обращения: 05.05.2021).
44. Респираторы // UNISHOP : универсальный каталог. 2011 [Электронный ресурс]. URL: <https://unishop.by/prices/respiratory/> (дата обращения: 05.05.2021).
45. Респираторы в Беларуси // Belarusinfo.by : интерактивная поисковая система. 1998 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.belarusinfo.by/ru/poisk/респираторы%20в%20беларуси.html> (дата обращения: 12.08.2022).
46. Кузнецов А. Н. 6 лучших производителей респираторов : рейтинг-2021 // Expertology : журнал. 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://expertology.ru/6-luchshikh-proizvoditeley-respiratorov/> (дата обращения 12.08.2022).
47. Производители респираторов: 22 завода из России // o-zavodah.ru : актуальные списки заводов производителей из России. 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://o-zavodah.ru/zavody-proizvoditeli-respiratorov/> (дата обращения 12.08.2022).
48. Kilic Ali. Improving electret filter efficiency by modifying fibrous webs with melt additives : A dissertation submitted for the Degree of Doctor of Philosophy. Raleigh (US), 2012. 374 p.
49. Характеристика защитных масок для лица [Электронный ресурс]. URL: <https://paar.ru/upload/iblock/b97/b97e692be306264a084dd1bd525b4b8b.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).
50. Masks under the microscope // National Institute of Standards and Technology US Department of Commerce. 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nist.gov/feature-stories/masks-under-microscope> (дата обращения: 05.05.2021).
51. Haifeng Zhang, Nuo Liu, Qianru Zeng, Jinxin Liu, Xing Zhang, Mingzheng Ge, Wei Zhang, Suying Li, Yijun Fu, Yu Zhang. Design of polypropylene electret melt blown nonwovens with superior filtration efficiency stability through thermally stimulated charging // *Polymers*, 2020, vol. 12, is. 10. doi: 10.3390/polym12102341
52. Kara Y., Molnár K. A review of processing strategies to generate melt-blown nano/microfiber mats for high-efficiency filtration applications // *Journal of Industrial Textiles*, 2021, vol. 51, pp. 137S–180S. doi: 10.1177/15280837211019488
53. Roh Sanghyun, Park Kangsoo, Kim Jooyoun. Design of web-to-web spacing for the reduced pressure drop and effective depth filtration // *Polymers*, 2020, vol. 11, is. 11. doi: 10.3390/polym11111822
54. Huiming Xiao, Jiyang Gui, Gangjin Chen, Chunping Xiao. Study on correlation of filtration performance and charge behavior and crystalline structure for melt-blown polypropylene electret fabrics // *Journal of Applied Polymer Science*, 2015, vol. 132, is. 47. doi: 10.1002/app.42807
55. Jianfeng Zhang, Gangjin Chen, Bhat G., Azari H., Pen H. Electret characteristics of melt-blown polylactic acid fabrics for air filtration application // *Journal of Applied Polymer Science*, 2019, vol. 137, is. 4. doi: 10.1002/APP.48309
56. Haifeng Zhang, Jinxin Liu, Xing Zhang, Chen Huang, Xiangyu Jin. Online prediction of the filtration performance of polypropylene melt blown nonwovens by blue-colored glow // *Journal of Applied Polymer Science*, 2018, vol. 135, is. 10. doi: 10.1002/APP.45948
57. Yong Zhang. Effect of electret process parameters on filtration performance of polypropylene melt-blown nonwoven fabric // *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1622. (6th Annual International Workshop on Materials Science and Engineering, 17–18 July 2020, Jinan, Shandong, China). doi: 10.1088/1742-6596/1622/1/012049
58. Авдеева Е. В., Неверов А. С. Прочностные и фильтрующие свойства волокнистых материалов, пластифицированных низкомолекулярными модификаторами // Поликомтриб-2022 : тезисы докладов международной научно-технической конф., Гомель, 28–30 июня 2022 г. Гомель : ИММС НАНБ, 2022. С. 68.
59. Авдеева Е. В., Шумская Е. Е., Петкевич А. В., Дудчик Н. В., Олейник А. Д., Михалко А. М., Юнусов Х. Э., Рогачев А. А., Агабеков В. Е. Фильтрационные и антибактериальные свойства модифицированных нетканых материалов на основе полипропилена // Поликомтриб-2022 : тезисы докладов международной научно-технической конф., Гомель, 28–30 июня 2022 г. Гомель : ИММС НАНБ, 2022. С. 26.
60. Галиханов М. Ф. Изменение фильтрующей способности полипропиленовых нетканых полотен при действии униполярного коронного разряда // *Химические волокна*. 2016, № 6. С. 28–33.
61. Патент 27894 РФ, МПК А 62 В 7/00. Респиратор / Блудян М. А., Феликсон Д. А., Гвоздев С. В., Смирнов А. В.; заявитель и патентообладатель Блудян М. А. N 2002128832/20; заявл. 04.11.2002; опубл. 27.02.2003 [Электронный ресурс]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU27894U1_20030227 (дата обращения: 12.08.2022).
62. Патент 2284840 РФ, МПК А 62 В 7/10, А 62 В 18/02. Респиратор / Шеляпин И. П., Куликов Н. К., Сырычко В. В., Зарипов И. Н., Никитаев С. П., Климов М. Г., Гаркуша Е. Г., Кукуй А. Н.; заявитель и патентообладатель ОАО «Электростальский химико-механический завод». N 2005104056/12; заявл. 15.02.2005; опубл. 10.10.2006 [Электронный ресурс]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2284840C1_20061010 (дата обращения: 12.08.2022).
63. Патент 2202387 РФ, МПК А 62 В 18/00, А 62 В 7/00. Устройство для защиты органов дыхания и способ его изготовления / Газиев Г. А., Гончаров С. Ф., Житомирский Е. И., Щербаков Л. П.; заявитель и патентообладатель Всероссийский центр медицины катастроф «Защита». N 2001117174/12; заявл. 25.06.2001; опубл. 20.04.2003. [Электронный ресурс]. URL: <http://allpatents.ru/patent/2202387.html> (дата обращения: 12.08.2022).
64. Козловская Е. Маска я в вас верю // sb.by. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sb.by/articles/maska-ya-v-vas-veruy.html> (дата обращения: 12.08.2022).

References

1. Petryanov I. V., Kozlov V. I., Basmanov P. I., Ogorodnikov B. I. *Voloknistye fil'truyushchie materialy FP* [Fibrous filtering materials FP]. Moscow : Znanie Publ., 1968. 79 p.
2. Filatov Yu. N. *Elektroformovanie voloknistykh materialov (EFM-protsess)* [Electroforming of fibrous materials (EFM-process)]. Moscow : Neft' i gaz Publ., 1997. 297 p.
3. Petryanov I. V., Koshcheev V. S., Basmanov P. I., Borisov N. B., Gol'dshcheyn D. S., Shatskiy S. N. «*Lepetok*». *Legkie respiratory* [“Lepetok”. Light respirators]. Moscow : Nauka Publ., 1984. 216 p.
4. Kravtsov A. G., Marchenko S. A., Zotov S. V., Stankevich V. M., Naumov A. D. *Polimernye voloknisto-poristye fil'truyushchie materialy*

- [Polymer fibrous-porous filtering materials]. Gomel' : BelGUT Publ., 2012. 319 p.
5. Ostreicher E. A. Fibrous filter medium and process. Patent US, no. 4007114A, 1977. Available at: <https://patents.google.com/patent/US4007114A/en> (accessed 22.02.2021).
 6. Berg H. J. Molded fibrous filtration products. Patent US, no. 4536440A, 1985. Available at: <https://patents.google.com/patent/US4536440A/en> (accessed 22.02.2021).
 7. Dyrud James F., Berg Harvey J., Murray Alice C. Resent shape-retaining fibrous filtration face mask. Patent US, no. 4807619A, 1989. Available at: <https://patents.google.com/patent/US4807619A/en> (accessed 22.02.2021).
 8. Kronzer Joseph P., Stumo Roger J., Rapids Coon, Dyrud J. F., Township Stanton, Berg Harvey J. Methods of forming fibrous filtration face masks. Patent US, no. 5307796A, 1994. Available at: <https://patents.google.com/patent/US5307796A/en> (accessed 22.02.2021).
 9. Braun David L., Steffen James E. Fibrous filtration face mask having corrugated polymeric microfiber filter layer. Patent US, no. 5804295A, 1998. Available at: <https://patents.google.com/patent/US5804295A/en> (accessed 22.02.2021).
 10. Westwood Alistair Duncan, Richeson Galen Charles. Elastic meltblown laminate constructions and methods for making same. Patent US, no. 20100266824A1, 2010. Available at: <https://patents.google.com/patent/US20100266824A1/en> (accessed 22.02.2021).
 11. Richeson Galen C., Westwood Alistair D. Multi-layered meltblown composite and methods for making same. Patent US, no. 9498932B2, 2016. Available at: <https://patents.google.com/patent/US9498932B2/en> (accessed 22.02.2021).
 12. Li Xianzhuyang, He Jiang, Jixu Models, Kui Sikkim Changxian. Elastic force and concentrate the meltblown fiber web and its manufacturing method that power is improved. Patent US, no. 104854269B, 2019. Available at: <https://patents.google.com/patent/CN104854269B/en> (accessed 22.02.2021).
 13. Brandner John Em, Kopeckisade William Jay, Angadji Aye, Band James E. Monocomponent single layer meltblown web and meltblowing equipment. Patent JP, no. 5579437B2, 2014. Available at: <https://patents.google.com/patent/JP5579437B2/en> (accessed 22.02.2021).
 14. Westwood Alistair Duncan. Polyolefin-based elastic meltblown fabrics. Patent US, no. 9194060B2, 2015. Available at: <https://patents.google.com/patent/US9194060B2/en> (accessed 22.02.2021).
 15. Shustov V. P. Razrabotka i issledovanie novykh metodov po-lucheniya mashinostroitel'nykh materialov i pokrytiy iz polimerov. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Development and research of new methods for obtaining engineering materials and coatings from polymers. PhD eng. sci. diss. abstract]. Minsk, 1975. 22 p.
 16. Stavrova T. V. Razrabotka i issledovanie voloknisto-poristykh materialov, poluchaemykh raspyleniem polimernykh rasplavov. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Development and study of fibrous porous materials obtained by spraying polymer melts. PhD eng. sci. diss. abstract]. Minsk, 1983. 21 p.
 17. Gol'dade V. A., Makarevich A. V., Pinchuk L. S., Sikanevich A. V., Chernorubashkin A. I. *Polimernye voloknistye melt-blown materialy* [Polymer fibrous melt-blown materials]. Gomel' : IMMS NANB Publ., 2000. 260 p.
 18. Kravtsov A. G., Gol'dade V. A., Zotov S. V. *Polimernye elek-tretnye fil'tromaterialy dlya zashchity organov dykhaniya* [Polymer electret filtering materials for respiratory protection]. Gomel' : IMMS NANB Publ., 2003. 204 p.
 19. Kravtsov A. G., Vorob'ev A. V., Pinchuk L. S., Gol'dade V. A., Gromyko Yu. V. Sposob polucheniya elektretного тонковолокнистого фил'tрующего материала дlya respiratorov [Method for producing electret fine-fiber filter material for respirators]. Patent RF, no. 2198718, 2003.
 20. Kravtsov A. G., Zotov S. V. Sloisty polimernyy voloknistyy fil'truyushchyy material dlya ochestki potoka vozdukhа [Laminated polymeric fibrous filter material for purifying the air flow]. Patent RF, no. 2262376, 2005.
 21. Kravtsov A. G., Zotov S. V. Dvukhsloynnyy polimernyy voloknistyy fil'truyushchyy material dlya ochestki potoka vozdukhа [Two-layer polymeric fibrous filter material for air flow purification]. Patent RB, no. 10977, 2008.
 22. Zotov S. V. Voloknistye elektretnye fil'tromaterialy na osnove poliolefinov dlya sredstv individual'noy zashchity organov dykhaniya Voloknistye elektretnye fil'tromaterialy na osnove poliolefinov dlja sredstv individual'noj zashchity organov dyhanija. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Fibrous electret filter materials based on polyolefins for personal respiratory protection. PhD eng. sci. diss. abstract]. Minsk, 2006. 21 p.
 23. Kravtsov A. G., Ovchinnikov K. V., Zotov S. V. Sposob po-lucheniya polimernogo elektretного voloknistого материала [Method for producing polymeric electret fibrous material]. Patent RB, no. 17587, 2013.
 24. Gol'dade V. A., Zotov S. V., Kravtsov A. G., Rychkov A. A., Kuz-netsov A. E., Trifonov S. A., Temnov D. E. Elektretnyy effekt v voloknistykh polimernykh materialakh, modifitsiro-vannykh trikhloridom fosfora [Electret effect in fibrous polymer materials modified with phosphorus trichloride]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A. I. Gertsena* [Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences], 2009, no. 11 (79), pp. 76–89.
 25. Ovchinnikov K. V., Kravtsov A. G., Zotov S. V., Gol'dade V. A. Elektretnyy effekt v plenkakh i voloknakh iz smesey polimerov [Electret effect in films and fibers from polymer mixtures]. *Materialy, tekhnologii, instrumenty* [Materials. Technologies. Tools], 2012, vol. 17, no. 3, pp. 61–65.
 26. Makarevich A. V., Pinchuk L. S., Gol'dade V. A. Elektricheskie polya i elektroaktivnye materialy v biotekhnologii i meditsine [Electric fields and electrically active materials in biotechnology and medicine]. Gomel' : IMMS NANB, 1998. 102 p.
 27. Grakovich P. N., Ivanov L. F., Kalinin L. A., Ryabchenko I. L., Tolstopyatov E. M., Krasovskiy A. M. Lazernaya ablyatsiya po-litetraforetilena [Laser ablation of polytetrafluoroethylene]. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal* [Russian Journal of General Chemistry], 2008, vol. 52, no. 3, pp. 97–105.
 28. Tolstopyatov E. M. Fizicheskie zakonomernosti dissotsia-tivnogo formirovaniya tonkikh polimernykh pokrytiy. Diss. dokt. tekhn. nauk [Physical regularities of dissociative formation of thin polymer coatings. Dr. eng. sci. diss.]. Gomel', 2006. 263p.
 29. Tolstopyatov E. M., Grakovich P. N. Kompleksnaya model' ab-lyatsii politetraforetilena izlucheniem SO₂ lazera v vakuumе [Complex model of polytetrafluoroethylene ablation by CO₂ laser radiation in vacuum]. *Tezisy dokladov mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Polimernye kompozity i tribologiya ("Polikomtrib-2005")»* [Abstract. report intl. sci.-tech. conf. "Polymer composites and tribology (Polycomtrib-2005)"]. Gomel', 2005, pp. 47–48.
 30. Ol'khov Yu. A., Allayarov S. R., Tolstopyatov E. M., Grakovich P. N., Kalinin L. A., Dobrovol'skiy Yu. A., Dikson D. A. Vliyanie nepreryvnogo izlucheniya SO₂-lazera na termicheskie i molekulyarno-topologicheskie svoystva politetraforetilena [Influence of continuous CO₂ laser radiation on thermal and molecular topological properties of polytetrafluoroethylene]. *Khimiya vysokikh energiy* [High Energy Chemistry], 2010, vol. 44, no. 1, pp. 65–76.
 31. Ryabchenko I. L., Tolstopyatov E. M., Grakovich P. N., Ivanov L. F. Elektrofizicheskoe sostoyanie voloknisto-poristого sloya, formiruемого pri lazernoy ablyatsii politetraforetilena v vakuumе [Electrophysical state of a fibrous porous layer formed during laser ablation of polytetrafluoroethylene in vacuum]. *Materialy, tekhnologii, instrumenty* [Materials. Technologies. Tools], 2004, vol. 9, no. 4, pp. 70–73.
 32. Boynovich L. B., Buznik V. M., Grakovich P. N., Gryaznov V. I., Pashinin A. S., Yurkov G. Yu. Sozdanie i modifitsirovanie supergidrofobnykh materialov na osnove voloknistого po-litetraforetilena [Creation and modification of superhydrophobic materials based on fibrous polytetrafluoroethylene]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2015, vol. 462, no. 4, pp. 431–434. doi: 10.7868/S0869565215160124
 33. Polikarpov A. P., Shunkevich A. A. Voloknistye ionity FIBAN, poluchenie i primenenie [Fibrous ion exchangers FIBAN, production and application]. *Tendentsii integratsii obrazovaniya, nauki i biznesa* [Trends in the integration of education, science and business]. Minsk : BNTU Publ., 2014, pp. 82–84.
 34. Ivanova N. A., Tarasevich V. A., Polikarpov A. P., Globa I. Yu., Belyasova N. A., Agabekov V. E., Kulevskaya I. V., Kosmacheva T. G., Shunkevich A. A. Biotsidnyy polimernyy sorbent [Biocidal polymeric sorbent]. Patent RB, no. 16527, 2012.

35. D'yakonova O. V., Amvros'eva T. V., Poklonskaya N. V., Shunke-vich A. A., Akulich Z. I., Soldatov V. S. Voloknistye iono-obmennye materialy kak effektivnyye adsorbenty dlya kon-tsentrirovaniya prisutstvuyushchikh v vode virusov [Fibrous ion-exchange materials as effective adsorbents for concentrating viruses present in water]. *Meditsinskie novosti* [Medical news], 2001, no. 11, pp. 76–77.
36. Amvros'eva T. V., Kazinets O. N., Poklonskaya N. V., Baranov-skaya N. N., Polikarpov A. P. Algoritm sanitarno-virusologicheskogo kontrolya ob'ektov sredi obitaniya cheloveka [Algorithm for sanitary and virological control of human environment objects]. *Sovremennyye problemy infektsionnoy patologii cheloveka* [Modern problems of human infectious pathology]. Minsk, 2014, is. 7, pp. 16–20.
37. Pis'mo-raz'yasnenie Gosstandarta Respubliki Belarus' ot 11.04.2020 № 05-11/493 [Explanatory letter of the State Standard of the Republic of Belarus dated 11.04.2020 No. 05-11/493]. Available at: <https://gosstandart.gov.by/assets/files/News/2020.04.11/TRTS017.pdf> (accessed 22 April 2021).
38. V Belarusi uvelichat proizvodstvo respiratorov [Belarus will increase the production of respirators]. Available at: <https://www.belta.by/economics/view/v-belarusi-uvlechit-proizvodstvo-respiratorov-384504-2020/2020> (accessed 22 April 2021).
39. Odnorazovyye meditsinskie maski [Disposable medical masks]. Available at: <https://dm-tamara.by/?yclid=2565375782737704714> (accessed 22 April 2021).
40. Maski i respiratory [Masks and respirators]. Available at: <https://interlok.by> (accessed 22 April 2021).
41. ООО «KitGrupp» [«KitGrupp» Ltd]. Available at: <https://kitgroup.by/> (accessed 5 May 2021).
42. Maski KN 95 [Masks KN 95]. Available at <https://belsettica.by/catalog/?q=Маски+KN95> (accessed 5 May 2021).
43. Sredstva individual'noj zashchity [Personal protective equipment]. Available at: <https://ika-sib.ru> (accessed 5 May 2021).
44. Respiratory [Respirators]. Available at: <https://unishop.by/prices/respiratory/> (accessed 5 May 2021).
45. Respiratory v Belarusi [Respirators in Belarus]. Available at: <https://www.belarusinfo.by/ru/poisk/респираторы%20в%20беларуси.html> / (accessed 12 august 2022).
46. Kuznetsov A. N. 6 luchshikh proizvoditeley respiratorov [The Best Six manufacturers of respirators]. Available at: <https://expertology.ru/6-luchshikh-proizvoditeley-respiratorov/> (accessed 12 august 2022).
47. Proizvoditeli respiratorov: 22 zavoda iz Rossii [Manufacturers of respirators: 22 factories from Russia]. Available at: <https://o-zavodah.ru/zavody-proizvoditeli-respiratorov/> (accessed 12 august 2022).
48. Kilic Ali. Improving electret filter efficiency by modifying fibrous webs with melt additives : A dissertation submitted for the Degree of Doctor of Philosophy. Raleigh (US), 2012. 374 p.
49. Kharakteristika zashchitnykh masok dlya litsa [Characteristics of protective face masks]. Available at: <https://paar.ru/upload/iblock/b97/b97e692be306264a084dd1bd525b4b8b.pdf> (accessed 5 May 2021).
50. Masks under the microscope. Available at: <https://www.nist.gov/feature-stories/masks-under-microscope> (accessed 5 May 2021).
51. Haifeng Zhang, Nuo Liu, Qianru Zeng, Jinxin Liu, Xing Zhang, Mingzheng Ge, Wei Zhang, Suying Li, Yijun Fu, Yu Zhang. Design of polypropylene electret melt blown nonwovens with superior filtration efficiency stability through thermally stimulated charging. *Polymers*, 2020, vol. 12, is. 10. doi: 10.3390/polym12102341
52. Kara Y., Molnár K. A review of processing strategies to generate melt-blown nano/microfiber mats for high-efficiency filtration applications. *Journal of Industrial Textiles*, 2021, vol. 51, pp. 137S–180S. doi: 10.1177/15280837211019488
53. Roh Sanghyun, Park Kangsoo, Kim Jooyoun. Design of web-to-web spacing for the reduced pressure drop and effective depth filtration. *Polymers*, 2020, vol. 11, is. 11. doi: 10.3390/polym11111822
54. Huiming Xiao, Jiyang Gui, Gangjin Chen, Chunping Xiao. Study on correlation of filtration performance and charge behavior and crystalline structure for melt-blown polypropylene electret fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 2015, vol. 132, is. 47. doi: 10.1002/app.42807
55. Jianfeng Zhang, Gangjin Chen, Bhat G., Azari H., Pen H. Electret characteristics of melt-blown polylactic acid fabrics for air filtration application. *Journal of Applied Polymer Science*, 2019, vol. 137, is. 4. doi: 10.1002/APP.48309
56. Haifeng Zhang, Jinxin Liu, Xing Zhang, Chen Huang, Xiangyu Jin. Online prediction of the filtration performance of polypropylene melt blown nonwovens by blue-colored glow. *Journal of Applied Polymer Science*, 2018, vol. 135, is. 10. doi: 10.1002/APP.45948
57. Yong Zhang. Effect of electret process parameters on filtration performance of polypropylene melt-blown nonwoven fabric. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1622. doi: 10.1088/1742-6596/1622/1/012049
58. Avdeeva E. V., Neverov A. S. Prochnostnye i fil'truyushchie svoystva voloknistykh materialov, plastifitsirovannykh nizkomolekulyarnymi modifikatorami [Strength and filtering properties of fibrous materials plasticized with low molecular weight modifiers]. *Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konf. «Polikomtrib-2022»* [“Polycomtrib-2022” : abstracts of reports of the international scientific and technical conference]. Gomel' : IMMS NANB Publ., 2022, pp. 68.
59. Avdeeva E. V., Shumskaya E. E., Petkevich A. V., Dudchik N. V., Oleynik A. D., Mikhalko A. M., Yunusov Kh. E., Rogachev A.A., Agabekov V.E. Fil'tratsionnye i antibakterial'nye svoystva modifitsirovannykh netkanykh materialov na osnove po-lipropilena [Filtration and antibacterial properties of modified nonwovens based on polypropylene]. *Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konf. «Polikomtrib-2022»* [“Polycomtrib-2022” : abstracts of reports of the international scientific and technical conference]. Gomel' : IMMS NANB Publ., 2022, pp. 26.
60. Galikhanov M. F. Izmenenie fil'truyushchey sposobnosti polipropilenovykh netkanykh poloten pri deystvii unipolyarnogo koronnogo razryada [Unipolar corona discharge effect on filtering capacity of polypropylene non-woven fabrics]. *Khimicheskie Volokna* [Fibre Chemistry], 2016, no. 6. pp. 28–33.
61. Bludyan M. A., Felikson D. A., Gvozdev S. V., Smirnov A. V. Respirator [Respirator]. Patent RF, no. 27894, 2003. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU27894U1_20030227 (accessed 12 august 2022).
62. Shelyapin I. P., Kulikov N. K., Strychko V. V., Zaripov I. N., Nikitaev S. P., Klimov M. G., Garkusha E. G., Kukuy A. N. Respirator [Respirator]. Patent RF, no. 2284840, 2006. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2284840C1_20061010 (accessed 12 august 2022).
63. Gaziev G. A., Goncharov S. F., Zhitomirskiy E. I., Shcherbakov L. P. Ustroystvo dlya zashchity organov dykhaniya i sposob ego izgotovleniya [Respiratory protection device and method of its manufacture]. Patent RF, no. 2202387, 2003. Available at: <http://allpatents.ru/patent/2202387.html> (accessed 12 august 2022).
64. Kozlovskaya E. Maska ya v vas veryu [Mask I believe in you]. Available at: <https://www.sb.by/articles/maska-ya-v-vas-veryu.html> (accessed 12 august 2022).