

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-20-25>

УДК 677.014.3:539.2

## ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОГО НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА АКВАСПАН НА ЕГО БАРЬЕРНЫЕ СВОЙСТВА

Е. В. АВДЕЕВА<sup>1+</sup>, А. М. МИХАЛКО<sup>2</sup>, А. В. ПЕТКЕВИЧ<sup>1</sup>, Е. Е. ШУМСКАЯ<sup>1</sup>, Н. В. ДУДЧИК<sup>3</sup>, М. В. АНИСОВИЧ<sup>3</sup>, В. А. ГОЛЬДАДЕ<sup>4</sup>, А. А. РОГАЧЕВ<sup>1</sup>, В. Е. АГАБЕКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт химии новых материалов НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 36, 220084, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Международная Китайско-Белорусская научная лаборатория по вакуумно-плазменным технологиям, Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь

<sup>3</sup>РУП «Научно-практический центр гигиены», ул. Академическая, 8, 220012, г. Минск, Беларусь

<sup>4</sup>Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь

*Установлено влияние модифицирования нетканого полипропиленового материала марки Акваспан покрытиями на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), полиэтиленгликоля (ПЭГ) и антибактериальных компонентов: октенидин дигидрохлорид (ОСТ) и ZnO; проведена оценка их барьерных характеристик.*

*Модифицирование Акваспан проводили электронно-лучевым и «растворным» методами. Установлено влияние выбранного метода модифицирования на морфологию и барьерные свойства материалов. Показано, что наилучшими барьерными свойствами обладают Акваспан ПТФЭ–ZnO с эффективностью фильтрации воздуха от водного аэрозоля 72%, краевым углом смачивания 133,5° и эффективной поверхностной плотностью заряда (–1,8) мкЛ/м<sup>2</sup>. Модифицирование материала Акваспан слоями ОСТ–ПЭГ приводит к существенному повышению поверхностной энергии до 9,5 мДж/м<sup>2</sup> по сравнению с исходным Акваспан — 4,2 мДж/м<sup>2</sup>. Наиболее выраженный эффект подавления роста бактерий *St. aureus*, *E. coli*, *Kl. pneumoniae* (100%) выявлен для образцов с ОСТ. Предложенные способы модифицирования поверхности и составы покрытий с антибактериальными компонентами перспективны для защитных масок с улучшенными барьерными свойствами.*

**Ключевые слова:** электронно-лучевое нанесение, поверхностная энергия, поверхностная плотность заряда, антибактериальная активность.

## INFLUENCE OF SURFACE MODIFICATION OF POLYPROPYLENE NONWOVEN MATERIAL AQUASPUN ON ITS BARRIER PROPERTIES

E. V. AVDEEVA<sup>1+</sup>, A. M. MIKHALKO<sup>2</sup>, A. V. PETKEVICH<sup>1</sup>, E. E. SHUMSKAYA<sup>1</sup>, N. V. DUDCHIK<sup>3</sup>, M. V. ANISOVICH<sup>3</sup>, V. A. GOLDADE<sup>4</sup>, A. A. ROGACHEV<sup>1</sup>, V. E. AGABEKOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Chemistry of New Materials, National Academy of Sciences of Belarus, F. Skorini St., 36, 220084, Minsk, Belarus

<sup>2</sup>International Chinese-Belarusian Scientific Laboratory for Vacuum Plasma Technologies, Francisk Skorina Gomel State University, Sovetskaya St., 104, 246019, Gomel, Belarus

<sup>3</sup>RUE “Scientific and Practical Center for Hygiene”, Akademicheskaya St., 8, 220012, Minsk, Belarus

<sup>4</sup>Francisk Skorina Gomel State University, Sovetskaya St., 104, 246019, Gomel, Belarus

*The influence of modification of nonwoven polypropylene material of the Aquaspan brand with coatings based on polytetrafluoroethylene (PTFE), polyethylene glycol (PEG) and antibacterial components of octenidine dihydrochloride (OCT), ZnO and evaluate their barrier characteristics.*

*Modification of Aquaspan was carried out by electron beam and “solution” methods. The influence of the*

<sup>+</sup>Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: shukova.yekaterina@yandex.by

chosen modification method on the morphology and barrier properties of materials was established. It was shown that Aquaspan PTFE–ZnO has the best barrier properties with an air filtration efficiency of 72%, a contact angle of 133,5° and an effective surface charge density of  $(-1.8) \mu\text{l}/\text{m}^2$ . Modification of the material with layers of OCT-PEG leads to a significant increase in surface energy ( $9.5 \text{ mJ}/\text{m}^2$ ) compared to the original Aquaspan ( $4.2 \text{ mJ}/\text{m}^2$ ). The most pronounced effect of inhibiting the growth of *St. aureus*, *E. coli*, *Kl. pneumoniae* (100%) was detected for samples with OCT. The proposed methods of surface modification and coating compositions with antibacterial components are promising for protective masks with improved barrier properties.

**Keywords:** nonwoven polymer materials, electron beam deposition, modifying coatings, surface energy, surface charge density, antibacterial activity.

Поступила в редакцию 22.02.2024

© Е. В. Авдеева, А. М. Михалко, А. В. Петкевич, Е. Е. Шумская, Н. В. Дудчик, М. В. Анисович, В. А. Гольдаде, А. А. Рогачев, В. Е. Агабеков, 2024

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)  
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь  
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus  
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: [polmattex@gmail.com](mailto:polmattex@gmail.com)  
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

#### Образец цитирования:

Авдеева Е. В., Михалко А. М., Петкевич А. В., Шумская Е. Е., Дудчик Н. В., Анисович М. В., Гольдаде В. А., Рогачев А. А., Агабеков В. Е. Влияние модифицирования поверхности полипропиленового нетканого материала Акваспан на его барьерные свойства // Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 10, № 2. С. 20–25. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-20-25>

#### Citation sample:

Avdeeva E. V., Mikhalko A. M., Petkevich A. V., Shumskaya E. E., Dudchik N. V., Anisovich M. V., Gol'dade V. A., Rogachev A. A., Agabekov V. E. Vliyanie modifitsirovaniya poverkhnosti polipropilenovogo netkanogo materiala Akvaspan na ego bar'ernye svoystva [Influence of surface modification of polypropylene nonwoven material aquaspan on its barrier properties]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2023, vol. 10, no. 2, pp. 20–25. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-20-25>

#### Литература

1. Дерягин Б. В., Чураев Н. В., Муллер В. М. Поверхностные силы. М. : Наука, 1985. 399 с.
2. Boynovich L., Emelyanenko A. The Prediction of Wettability of Curved Surfaces on the Basis of the Isotherms of the Disjoining Pressure // *Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2011, vol. 383, is. 1-3, pp. 10–16. doi: 10.1016/j.colsurfa.2010.12.020
3. Богданова Ю. Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов. М. : МГУ, 2010. 68 с.
4. Xie T., Yang T. T., Yang W. J., Tian M. Effects of Environmental Humidity on the Tribological Properties of Modified PTFE Three-Layer Composites // *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 631-632, pp. 463–466. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.631-632.463
5. Назаров В. Г. Поверхностная модификация полимеров : монография. М. : МГУП, 2008. 471 с.
6. Japuntich D. A., Stenhouse J. I. T., Liu B. Y. H. Experimental results of solid monodisperse particle clogging of fibrous filters // *J. Aerosol Sci.*, 1994, vol. 25, is. 2, pp. 385–393. doi: 10.1016/0021-8502(94)90089-2
7. Kwok D. Y., Neumann A. W. Contact angle measurement and contact angle interpretation // *Advances in Colloid and Interface Science*, 1999, vol. 81, is. 3, pp. 167–249. doi: 10.1016/S0001-8686(98)00087-6
8. Lee L. H. Roles of molecular interactions in adhesion, adsorption, contact angle and wettability // *J. Adhesion Sci. Technol.*, 1993, vol. 7, is. 6, pp. 583–634. doi: 10.1163/156856193X00871
9. Avdeeva E., Petkevich A., Mikhalko A., Shumskaya A., Sychik S., Dudchik N., Anisovich M., Yarmolenko M., Halinowski N., Rogachev A., Agabekov V. Modification of nonwoven polymer materials for increasing of their filtration and antibacterial properties // *Polym. Eng. Sci.*, 2023, vol. 63, is. 11, pp. 3831–3842. doi: 10.1002/pen.26489
10. Дудчик Н. В., Шевляков В. В. Прокариотические тест-модели для оценки биологического действия и гигиенической регламентации факторов окружающей среды // Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека : Материалы Международного Форума Научного совета Российской Федера-

- ции по экологии человека и гигиене окружающей среды, Москва, 15–16 декабря 2016 г. : в 2 т. Т. 1. Москва, 2016. С. 187–189.
11. Dudchik N. V., Sychik S. I., Nezhvinskaya O. E., Kolomiets N. D., Fedorenko E. V., Drozdova E. V., Tonko O. V., Emel'yanova O. A. Bacterial profiles and phenotypic biomarkers of microbiota isolates in habitat: hazard identification factors // *Health Risk Analysis*, 2020, no. 2, pp. 92–100. doi: 10.21668/health.risk/2020.2.10.eng
  12. Дудчик Н. В., Сычик С. И., Шевляков В. В. Прокариотические тест-модели в экотоксикологических исследованиях: перспективы и классификация (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2018. № 4. С. 5–12. doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-005-012
  13. Dudchik N. V., Drozdova E. V., Sychik S. I. Test-model and quantitative  $R_{DDS}$  criterion index which are applied to estimate antimicrobial potential of nanomaterials used for water purification and treatment: substantiation and metrologic assessment // *Health Risk Analysis*, 2018, no. 3, pp. 104–111. doi: 10.21668/health.risk/2018.3.11.eng
  14. Chibowski, E., Terpilowski, K. Surface free energy of polypropylene and polycarbonate solidifying at different solid surfaces // *Applied Surface Science*, 2009, vol. 256, no. 5, pp. 1573–1581. doi: 10.1016/j.apsusc.2009.09.024
  15. Lee Sangwha, Park Joon-Seo, Lee T. Randall. The Wettability of Fluoropolymer Surfaces: Influence of Surface Dipoles // *Langmuir*, 2008, vol. 24, is. 9, pp. 4817–4826. doi: 10.1021/la700902h
  16. Гольдаде В. А., Коваленко М. А., Гарбарук В. Ю., Зотов С. В. Формирование и релаксация заряда в нанокompозитах на основе полиэтилена // *Вестник Гродненского государственного университета им. Янки Купалы*. Серия 6. Техника. 2020. Т. 10, № 2. С. 52–63.
  17. Hu D. W., Qiao L. P., Chen J. M., Ye X. N., Yang X., Cheng T. T., Fang W. Hygroscopicity of inorganic aerosols: Size and relative humidity effects on the growth factor // *Aerosol Air Qual. Res.*, 2010, vol. 10, is. 3, pp. 255–264.

## References

1. Deryagin B. V., Churaev N. V., Muller V. M. *Poverkhnostnye sily* [Surface forces]. Moscow : Nauka Publ., 1985. 399 p.
2. Boinovich L., Emelyanenko A. The Prediction of Wettability of Curved Surfaces on the Basis of the Isotherms of the Disjoining Pressure. *Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2011, vol. 383, is. 1-3, pp. 10–16. doi: 10.1016/j.colsurfa.2010.12.020
3. Bogdanova Yu. G. *Adgeziya i ee rol' v obespechenii prochnosti polimernykh kompozitov* [Adhesion and its role in ensuring the strength of polymer composites]. Moscow : MGU Publ., 2010. 68 p.
4. Xie T., Yang T. T., Yang W. J., Tian M. Effects of Environmental Humidity on the Tribological Properties of Modified PTFE Three-Layer Composites. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 631-632, pp. 463–466. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.631-632.463
5. Nazarov V. G. *Poverkhnostnaya modifikatsiya polimerov* [Surface modification of polymers]. Moscow : MGUP Publ., 2008. 471 p.
6. Japuntich D. A., Stenhouse J. I. T., Liu B. Y. H. Experimental results of solid monodisperse particle clogging of fibrous filters. *J. Aerosol Sci.*, 1994, vol. 25, is. 2, pp. 385–393. doi: 10.1016/0021-8502(94)90089-2
7. Kwok D. Y., Neumann A. W. Contact angle measurement and contact angle interpretation. *Advances in Colloid and Interface Science*, 1999, vol. 81, is. 3, pp. 167–249. doi: 10.1016/S0001-8686(98)00087-6
8. Lee L. H. Roles of molecular interactions in adhesion, adsorption, contact angle and wettability. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 1993, vol. 7, is. 6, pp. 583–634. doi: 10.1163/156856193X00871
9. Avdeeva E., Petkevich A., Mikhalko A., Shumskaya A., Sychik S., Dudchik N., Anisovich M., Yarmolenko M., Halinowski N., Rogachev A., Agabekov V. Modification of nonwoven polymer materials for increasing of their filtration and antibacterial properties. *Polym. Eng. Sci.*, 2023, vol. 63, is. 11, pp. 3831–3842. doi: 10.1002/pen.26489
10. Dudchik N. V., Shevlyakov V. V. Prokarioticheskie test-modeli dlya otsenki biologicheskogo deystviya i gigienicheskoy reglamentatsii faktorov okruzhayushchey sredy [Prokaryotic test models for assessing biological effects and hygienic regulation of environmental factors]. *Materialy Mezhdunarodnogo Forumu Nauchnogo soveta Rossiyskoy Federatsii po ekologii cheloveka i gigiene okruzhayushchey sredy «Sovremennye metodologicheskie problemy izucheniya, otsenki i reglamentirovaniya faktorov okruzhayushchey sredy, vliyayushchikh na zdorov'e cheloveka»* [Materials of the International Forum of the Scientific Council of the Russian Federation on Human Ecology and Environmental Hygiene "Modern methodological problems of studying, assessing and regulating environmental factors affecting human health"]. Moscow, 2016, vol. 1, pp. 187–189.
11. Dudchik N. V., Sychik S. I., Nezhvinskaya O. E., Kolomiets N. D., Fedorenko E. V., Drozdova E. V., Tonko O. V., Emel'yanova O. A. Bacterial profiles and phenotypic biomarkers of microbiota isolates in habitat: hazard identification factors. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 2, pp. 92–100. doi: 10.21668/health.risk/2020.2.10.eng
12. Dudchik N. V., Sychik S. I., Shevlyakov V. V. Prokarioticheskie test-modeli v ekotoksikologicheskikh issledovaniyakh: perspektivy i klassifikatsiya (obzor) [Prokaryotic test models in ecotoxicological studies: prospects and classification (review)]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2018, no. 4, pp. 5–12. doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-005-012
13. Dudchik N. V., Drozdova E. V., Sychik S. I. Test-model and quantitative  $R_{DDS}$  criterion index which are applied to estimate antimicrobial potential of nanomaterials used for water purification and treatment: substantiation and metrologic assessment. *Health Risk Analysis*, 2018, no. 3, pp. 104–111. doi: 10.21668/health.risk/2018.3.11.eng
14. Chibowski, E., Terpilowski, K. Surface free energy of polypropylene and polycarbonate solidifying at different solid surfaces. *Applied Surface Science*, 2009, vol. 256, no. 5, pp. 1573–1581. doi: 10.1016/j.apsusc.2009.09.024
15. Lee Sangwha, Park Joon-Seo, Lee T. Randall. The Wettability of Fluoropolymer Surfaces: Influence of Surface Dipoles. *Langmuir*, 2008, vol. 24, is. 9, pp. 4817–4826. doi: 10.1021/la700902h
16. Goldade V. A., Kovalenko M. A., Garbaruk V. Yu., Zotov S. V. Formirovaniye i relaksatsiya zaryada v nanokompозитakh na osnove polietilena [Formation and relaxation of charge in nanocomposites based on polyethylene]. *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yanki Kupaly. Seriya 6. Tekhnika* [Bulletin of the Yanka Kupala State University of Grodno. Ser. 6. Technics], 2020, vol. 10, no. 2, pp. 52–63.
17. Hu D. W., Qiao L. P., Chen J. M., Ye X. N., Yang X., Cheng T. T., Fang W. Hygroscopicity of inorganic aerosols: Size and relative humidity effects on the growth factor. *Aerosol Air Qual. Res.*, 2010, vol. 10, is. 3, pp. 255–264.