

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-1-52-58>

УДК 539.23

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ХИТОЗАНА С НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Д. В. САПСАЛЁВ<sup>1,2+</sup>, А. С. ПЕТРОВСКАЯ<sup>1</sup>, Д. Л. РАДЮКЕВИЧ<sup>1</sup>, А. В. ХАБАРОВА<sup>1</sup>,  
Г. Б. МЕЛЬНИКОВА<sup>1</sup>, С. А. ЧИЖИК<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, ул. Советская, 18, 220030, Минск, Беларусь

*Цель работы — получение нанокomпозиционных покрытий хитозана с наночастицами оксида алюминия методом спин-коатинга и изучение их структурно-механических свойств.*

*Разработана методика получения одно- и многослойных пленок хитозана и композиционных полимерных покрытий с наночастицами оксида алюминия методом спин-коатинга. Показано, что оптимальное массовое содержание наночастиц оксида алюминия в суспензии для формирования композиционных покрытий составляет 0,625%. Методами атомно-силовой микроскопии и наноиндентирования проведено изучение структурно-морфологических, механических и термомеханических свойств сформированных пленок. Установлено, что увеличение количества слоев композиционных покрытий приводит к росту числа конгломератов, что, в свою очередь, повышает шероховатость поверхности пленок. Введение наночастиц  $\text{Al}_2\text{O}_3$  приводит к снижению модуля упругости пленок хитозана. Модуль упругости исследуемых однослойных покрытий значительно снижается в диапазоне 20–40 °С. Введение нч- $\text{Al}_2\text{O}_3$  в однослойные полимерные пленки незначительно изменяет микротвердость покрытий, в то время как, многослойные нанокomпозиты демонстрируют рост значений микротвердости. Однослойные композиционные пленки демонстрируют рост силы адгезии до 37,6 нН. Многослойные композиционные покрытия (5 слоев) также имеют более высокие значения  $F_{\text{адг}}$  по сравнению с пленками хитозана. Нанокomпозиты демонстрируют рост краевого угла смачивания с увеличением количества слоев композиционных покрытий до 20. Последующий рост толщины покрытий (количества слоев) приводит к увеличению гидрофильности нанокomпозитов.*

**Ключевые слова:** композиционные полимерные покрытия, хитозан, неорганические наночастицы, оксид алюминия, спин-коатинг, атомно-силовая микроскопия, локальные механические свойства.

## STRUCTURE AND PROPERTIES OF MULTILAYER NANOCOMPOSITE COATINGS OF CHITOSAN WITH ALUMINUM OXIDE NANOPARTICLES

D. V. SAPSALIOU<sup>1,2+</sup>, A. S. PETROVSKAYA<sup>1</sup>, D. L. RADYUKEVICH<sup>1</sup>, A. V. KHABARAVA<sup>1</sup>,  
G. B. MELNIKOVA<sup>1</sup>, S. A. CHIZHIK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>A. V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute, National Academy of Sciences of Belarus, P. Brovka St., 15, 220072, Minsk, Belarus

<sup>2</sup>Maksim Tank Belarusian State Pedagogical University, Sovetskaya St., 18, 220030, Minsk, Belarus

*The aim of the work is to obtain nanocomposite chitosan coatings with aluminum oxide nanoparticles with spin-coating and study their structural and mechanical properties.*

<sup>+</sup>Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: dsapsalev@list.ru

A methodology for obtaining single and multilayer films of chitosan and compositional polymer coatings with nanoparticles of aluminum oxide by spin coating has been developed. It is shown that the optimal mass content of aluminum oxide nanoparticles in the suspension for the formation of compositional coatings is of 0.625%. Structural-morphological, mechanical and thermomechanical properties of formed films have been studied by the methods of atomic force microscopy and nanoindenting. It was established that an increase in the number of layers of compositional coatings leads to an increase in the number of conglomerates, which, in turn, increases the roughness of the surface of the films. The introduction of  $Al_2O_3$  nanoparticles leads to a decrease in the elasticity module of chitosan films. The elasticity of the studied single-layer coatings is significantly reduced in the range of 20–40 °C. The introduction of the  $Al_2O_3$ -NPs into single-layer polymer films slightly changes the micro-hardness of the coatings, while multi-layer nanocomposites demonstrate an increase in the values of micro-hardness. Single-layer composite films show an increase in adhesion force up to 37,6 nN. Multilayer composite coatings (5 layers) also have higher  $F_{adh}$  values compared to chitosan films. Nanocomposites demonstrate an increase of the contact angle with an increase in the number of layers of compositional coatings to 20. The subsequent growth of the thickness of the coatings (number of layers) leads to increase the hydrophilicity of the nanocomposites.

**Keywords:** composite polymer coatings, chitosan, inorganic nanoparticles, aluminum oxide, spin coating, atomic force microscopy, local mechanical properties.

Поступила в редакцию 09.03.2023

© Д. В. Сапсальёв, А. С. Петровская, Д. Л. Радюкевич, А. В. Хабарова, Г. Б. Мельникова, С. А. Чижик, 2023

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:

Сапсальёв Д. В., Петровская А. С., Радюкевич Д. Л., Хабарова А. В., Мельникова Г. Б., Чижик С. А. Структура и свойства многослойных нанокomпозиционных покрытий хитозана с наночастицами оксида алюминия // Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 9, № 1. С. 52–58. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-1-52-58>

#### Citation sample:

Sapsalev D. V., Petrovskaya A. S., Radyukevich D. L., Khabarova A. V., Mel'nikova G. B., Chizhik S. A. Struktura i svoystva mnogoslownykh nanokompozitsionnykh pokrytiy khitozana s nanochastitsami oksida alyuminiya [Structure and properties of multilayer nanocomposite coatings of chitosan with aluminum oxide nanoparticles]. *Polymer Materials and Technologies*, 2023, vol. 9, no. 1, pp. 52–58. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-1-52-58>

#### Литература

1. Хлыстова Т. С. Технология получения лечебных депо-материалов на текстильной и гидрогелевой основе с использованием печатных композиций из смеси биополимеров-полисахаридов : дис. канд. техн. наук : 05.19.02. М., 2015. 180 с.
2. Макаренко М. В., Курченко В. П., Усанов С. А. Современные подходы к разработке раневых покрытий // Труды БГУ. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2016. Т. 11, № 1. С. 273–279.
3. Морозов А. М., Сергеев А. Н., Сергеев Н. А., Дубатолов Г. А., Жуков С. В., Городничев К. И., Муравлянцева М. М., Сухарева Д. Д. Использование современных раневых покрытий в местном лечении ран различной этиологии // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 2. doi: 10.17513/spno.29705
4. Винник Ю. С., Маркелова Н. М., Соловьева Н. С., Шишацкая Е. И., Кузнецов М. Н., Зуев А. П. Современные раневые покрытия в лечении гнойных ран // Новости хирургии. 2015. Т. 23. № 5. С. 552–558. doi: 10.18484/2305-0047.2015.5.552

5. Kraskouski A., Hileuskaya K., Kulikouskaya V., Kabanava V., Agabekov V., Pinchuk S., Vasilevich I., Volotovskii I., Kuznetsova T., Lapitskaya V. Polyvinyl alcohol and pectin blended films: preparation, characterization and mesenchymal stem cells attachment // *Journal of Biomedical Materials Research. Part A*, 2021, vol. 109, is. 8, pp. 1379–1392. doi: 10.1002/jbm.a.37130
6. Абилова Г. К. Разработка технологии получения гидрогелевых лекарственных форм и повязок : дис. д-ра философии : 6D072100. Алматы, 2019. 135 с.
7. Mallakpour S., Dinari M. Enhancement in thermal properties of poly(vinyl alcohol) nanocomposites reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles // *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2012, vol. 32, no. 4, pp. 217–224. doi: 10.1177/0731684412467236
8. Соловьев В. С., Успенская М. В., Сиротинкин Н. В. Полимерные водопоглощающие композиции с повышенной прочностью // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2010. Т. 53. № 4. С. 63–65.
9. Каримова Р. Д., Гурина М. С., Лаздин Р. Ю., Чернова В. В., Кулиш Е. И., Заиков Г. Е. Пленочные полимерные покрытия на основе хитозана // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 11. С. 132–135.
10. Кочеткова А. С., Ефимов Н. Ю., Соснов Е. А. Исследование нанокомпозитов на основе поливинилхлорида методами атомно-силовой микроскопии // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки*. 2013. Т. 165, № 1. С. 114–119.

## References

1. Khlystova T. S. Tekhnologiya polucheniya lechebnykh depo-materialov na tekstil'noy i gidrogelevoy osnove s ispol'zovaniem pechatnykh kompozitsiy iz smesi biopolimerov – polisakharidov. Diss. kand. tekhn. nauk [Technology for obtaining medical depot materials on a textile and hydrogel basis using printed compositions from a mixture of biopolymers – polysaccharides. PhD eng. sci. diss.]. Moscow, 2015. 180 p.
2. Makarenko M. V., Kurchenko V. P., Usanov S. A. Sovremennye podkhody k razrabotke ranevykh pokrytiy [Modern approaches to the development of wound coverings]. *Trudy BGU. Seriya: Fiziologicheskie, biokhimicheskie i molekulyarnye osnovy funktsionirovaniya biosistem* [Proceedings of the Belarusian State University. Series of Physiological, Biochemical and Molecular Biology Sciences], 2016, vol. 11, no. 1, pp. 273–279.
3. Morozov A. M., Sergeev N. A., Sergeev N. A., Dubatolov G. A., Zhukov S. V., Gorodnichev K. I., Muravlyantseva M. M., Sukhareva D. D. Ispol'zovanie sovremennykh ranevykh pokrytiy v mestnom lechenii ran razlichnoy etiologii [The use of modern wound dressings in the local treatment of wounds of various etiologies]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2020, no. 2. doi: 10.17513/spno.29705
4. Vinnik Yu. S., Markelova N. M., Solov'eva N. S., Shishatskaya E. I., Kuznetsov M. N., Zuev A. P. Sovremennye ranevye pokrytiya v lechenii gnoynnykh ran [Modern wound dressings in the treatment of purulent wounds]. *Novosti khirurgii* [Surgery News], 2015, vol. 23, no. 5, pp. 552–558. doi: 10.18484/2305-0047.2015.5.552
5. Kraskouski A., Hileuskaya K., Kulikouskaya V., Kabanava V., Agabekov V., Pinchuk S., Vasilevich I., Volotovskii I., Kuznetsova T., Lapitskaya V. Polyvinyl alcohol and pectin blended films: preparation, characterization and mesenchymal stem cells attachment. *Journal of Biomedical Materials Research. Part A*, 2021, vol. 109, is. 8, pp. 1379–1392. doi: 10.1002/jbm.a.37130
6. Abilova G. K. Razrabotka tekhnologii polucheniya gidrogelevykh lekarstvennykh form i povyazok. Diss. dokt. filosofii [Development of technology for obtaining hydrogel dosage forms and dressings. PhD. diss.]. Almaty, 2019. 135 p.
7. Mallakpour S., Dinari M. Enhancement in thermal properties of poly(vinyl alcohol) nanocomposites reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2012, vol. 32, no. 4, pp. 217–224. doi: 10.1177/0731684412467236
8. Solov'ev V. S., Uspenskaya M. V., Sirotnikin N. V. Polimernye vodopogloshchayushchie kompozitsii s povyshennoy prochnost'yu [Polymeric water-absorbing compositions with increased strength]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2010, vol. 53, no. 4, pp. 63–65.
9. Karimova R. D., Gurina M. S., Lazdin R. Yu., Chernova V. V., Kulish E. I., Zaikov G. E. Plenochnye polimernye pokrytiya na osnove khitozana [Film polymer coatings based on chitosan]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2014, vol. 17, no. 11, pp. 132–135.
10. Kochetkova A. S., Efimov N. Yu., Sosnov E. A. Issledovanie nanokompozitov na osnove polivinilkhlorda metodami atomno-silovoy mikroskopii [Investigation of Nanocomposites Based on Polyvinyl Chloride by Atomic Force Microscopy]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Fiziko-matematicheskie nauki* [St. Petersburg Polytechnic University Journal – Physics and Mathematics], 2013, vol. 165, no. 1, pp. 114–119.