





Противоспаечные мембраны на основе сшитой карбоксиметилцеллюлозы





Валерий А. Жуковский ¹	rdd.lintex@gmail.com	 0000-0001-7092-9155
Вячеслав Е. Немилев ¹	vyachnem@mail.ru	 0000-0002-4500-1862
Татьяна С. Филипенко ¹	tanek-f@rambler.ru	 0000-0001-7878-6371
Татьяна Ю. Анущенко ¹	atu0106@ya.ru	 0000-0002-9266-0756

¹ Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, 191186, Россия

Аннотация. В последние годы разрабатываются и активно внедряются в хирургическую практику новые противоспаечные средства, в том числе на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), обладающие «барьерным» эффектом. «Барьер» должен полностью рассасываться по истечении срока, необходимого для восстановления морфофункциональной целостности поврежденной брюшины, быть экономически доступным и простым в применении (включая лапароскопические технологии). Но время пребывания КМЦ в организме недостаточно для профилактики образования спаек, в частности в присутствии нерассасывающихся ригидных имплантатов. Наличие в карбоксиметилцеллюлозе реакционноспособных функциональных групп позволяет преобразовывать макромолекулы КМЦ в пространственную структуру. Для этого требуется использование бифункциональных (бикарбоновых или аминокарбоновых) кислот, а также перевод части карбоксильных групп из Na-формы в труднорастворимую H-форму, т. е. необходимо осуществить сшивку макромолекул КМЦ. С этой целью в качестве сшивающих агентов были использованы адипиновая и глутаровая, аминокислотная и аминокпроновая кислоты. Изучено влияние параметров модификации на степень набухания полимеров в воде. Таким образом, для получения мембран, предназначенных для лечения спаечной болезни, рекомендовано применять добавки в КМЦ бифункциональных соединений.

Ключевые слова: антиадгезивный барьер, карбоксиметилцеллюлоза, адипиновая, аминокпроновая, глутаровая, аминокислотная кислота

Anti-adhesive membranes based on crosslinked carboxymethyl cellulose

Valeriy A. Zhukovskiy ¹	rdd.lintex@gmail.com	 0000-0001-7092-9155
Vyacheslav E. Nemilov ¹	vyachnem@mail.ru	 0000-0002-4500-1862
Tatyana S. Filipenko ¹	tanek-f@rambler.ru	 0000-0001-7878-6371
Tatyana Yu. Anuschenko ¹	atu0106@ya.ru	 0000-0002-9266-0756

¹ Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Bolshaya Morskaya Street, 18, Saint-Petersburg, 191186, Russia

Abstract. In recent times, new anti-adhesion devices including devices based on carboxymethyl cellulose (CMC), which have “barrier” effect are being developed and actively introduced into surgical practice. The “barrier” should be completely resorbed after the time required to healing the morphofunctional integrity of the injured peritoneum, be economically available and easy to use (including laparoscopic technologies). But the time when the CMC is in the body is insufficient to prevent the formation of adhesions, particularly in the presence of non-absorbable rigid implants. The reactive functional groups in CMC allow to transform the CMC-macromolecule into a spatial structure. For this are required the using of bifunctional (bicarboxylic or aminocarboxylic) acids and the transform of a part of the carboxyl groups from the Na-form to the hardly soluble H-form, i.e., it is necessary to crosslink CMC-macromolecules. Adipic acid and glutaric acid, aminoacetic acid and amino capronic acid used are linking agents. The influence of modification parameters on the degree of polymers swelling in water is studied. As a result, to obtain membranes designed for the treatment of adhesive disease, it is recommended to use additives in CMC of bifunctional compounds.

Keywords: anti-adhesion barrier, carboxymethyl cellulose, adipic, aminocaproic, glutaric, aminoacetic acids

Введение

По данным экспертов Международного общества изучения спаек (International Adhesion Society, Dallas, TX, USA), адгезивный процесс является наиболее частым осложнением хирургических операций на органах брюшной полости [1-3] и малого таза [4-7]. Количество

рецидивов в раннем и позднем послеоперационном периоде после вмешательств по поводу спаечной болезни достигает 32–71% [8], при этом лапароскопическая хирургия, в сравнении с открытыми операциями, практически не снижает частоту и распространенность спаечного процесса [9].

Для цитирования

Жуковский В.А., Немилев В.Е., Филипенко Т.С., Анущенко Т.Ю. Противоспаечные мембраны на основе сшитой карбоксиметилцеллюлозы // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 191–196. doi:10.20914/2310-1202-2021-2-191-196

For citation

Zhukovskiy V.A., Nemilov V.E., Filipenko T.S., Anuschenko T.Yu. Anti-adhesive membranes based on crosslinked carboxymethyl cellulose. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 191–196. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-2-191-196

Формирование спаек происходит между поверхностями с травмированным покровом внутренних органов [10, 11]. Очевидно, что разделение травмированных поверхностей так называемыми «барьерами» в течение 5–8 суток, необходимых для восстановления брюшинного покрова, должно теоретически помочь нормальному заживлению, независимо от изменяющихся биохимических процессов [12, 13]. По этой причине, «барьеры» могут быть прямым и простым средством для сокращения или предотвращения образования спаек [14]. Хотя концепция «барьера» проста, он должен соответствовать ряду требований, чтобы найти широкое применение в клинической практике. «Барьер» должен быть биосовместимым, эффективным в присутствии крови и экссудата, должен быть безопасен, инертен, т.е. не быть очагом воспаления, инфекции, фиброза, не должен инкапсулироваться, стимулировать прорастание сосудов. «Барьер» должен полностью рассасываться, быть удобным и легким в применении (в том числе при лапароскопии), по возможности не нуждаться в креплении с помощью шва [15, 16].

Цель работы – определение параметров модификации противоспаечных мембран на основе карбоксиметилцеллюлозы для снижения степени их набухания в водной среде и увеличения продолжительности «барьерных» функций, предотвращающих спайкообразование при операциях на органах брюшной полости.

Материалы и методы

Показаниями к использованию биосовместимых материалов для лечения грыж брюшной стенки являются замена потерянной мышечной и (или) фасциальной ткани, когда первичное их состояние не может быть восстановлено обычными методами [17]. Эти материалы также могут быть использованы для упрочнения грыжевых дефектов, связанных со слабостью собственных тканей, следствием чего является выпячивание внутренностей и, обусловленные этим, нарушения функций органов и тканей.

Развитие химии высокомолекулярных соединений дало новые виды герниопластических материалов – синтетические полимеры, многие из которых стали широко применяться в различных отраслях восстановительной хирургии, в том числе при лечении грыж [18].

Использование полимерных материалов с этой целью обусловлено рядом важных преимуществ, которые им характерны: малый удельный вес; возможность изготовления любых текстильных структур (пористых, монолитных, сетчатых и т.д.), обладающих различной упругостью, гибкостью, прочностью; достаточная химическая и биологическая инертность и др.

Карбоксиметилцеллюлоза хорошо растворяется в воде, образуя гель. Она нетоксична, не канцерогенна, не оказывает эмбриотоксического эффекта, рассасывается в организме в заданные сроки. Однако время ее пребывания, особенно в присутствии нерассасывающихся имплантатов, недостаточно для профилактики образования спаек [19, 20].

Для изготовления мембран, представляющих собой гелевые пленки, в настоящем исследовании использовали: КМЦ–натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) со степенью замещения 0,60–0,98 и содержанием основного вещества не менее 99,0% (марка «Секол-2000» производства компании «СР-Kelco», Финляндия); глутаровую кислоту, 99,0% (код CAS 110–94–1), адипиновую кислоту, 99,0% (ГОСТ 10558–80), ε-аминокапроновую кислоту, 99,0% (код CAS 60–32–2), аминокислоту, 98,5% (ГОСТ 5860–75).

В качестве критерия модификации пленок исследовали степень их набухания (α), определяемую отношением массы поглощенной полимером жидкости к массе исходного полимера:

$$\alpha_m = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%,$$

где m – масса набухшего образца, г; m_0 – масса исходного образца, г.

Наличие в КМЦ реакционноспособных групп – карбоксильных и гидроксильных – позволяет преобразовать линейную молекулу КМЦ в сетчатую макромолекулярную структуру. Для этого требуется использование бифункциональных соединений, а также перевод части карбоксильных групп из Na-формы в реакционноспособную H-форму.

Перевод части групп КМЦ в реакционноспособные карбоксильные осуществляли введением 50% от массы полимера 5%-ого раствора хлористоводородной кислоты.

Сшивающие агенты вводили в модифицирующую ванну в количестве 15% от массы полимера.

Получение раствора осуществляли при комнатной температуре и тщательном перемешивании в течение 12 часов.

Пленки образовывались в результате испарения растворителя (воды), которое осуществляли путем выдерживания чашек Петри с растворами полимера при температурах 20, 30, 50 и 70 °C на воздухе до получения пленок. Полученные пленки термообработывали при 120 °C в течение 2 часов в термошкафу и определяли степень их набухания путем выдерживания в воде в течение суток (модуль ванны 500) при комнатной температуре.

Результаты и обсуждение

Показано, что содержание карбоксильных групп в Н-форме, температура и продолжительность термообработки пленок оказывают влияние на степень их набухания. Регулируя

эти параметры можно получить пленки с минимальными значениями степени набухания.

В таблице 1 приведены показатели степени набухания пленок, полученных при испарении растворителя при разных температурах.

Таблица 1.

Влияние температуры испарения растворителя из растворов КМЦ на степень набухания образцов

Table 1.

The influence of the evaporation temperature of the solvent from CMC solutions on the degree of swelling of the samples

Температура испарения растворителя, °С Solvent evaporation temperature, °C	Степень набухания КМЦ пленок (α), содержащих кислоты Degree of swelling of CMC films (α) containing acids			
	глутаровую glutaric	адипиновую adipic	аминоуксусную aminoacetic	ϵ -аминокапроновую ϵ -aminocaproic
20	0,29	0,44	0,39	0,27
30	0,33	0,46	0,40	0,40
50	0,39	0,50	0,45	0,46
70	0,50	0,71	0,50	0,55

Из представленных в таблице 1 данных видно, что повышение температуры испарения растворителя приводит к увеличению степени набухания пленок. Это можно объяснить частичным разрушением пространственной сетки и уменьшением количества образующихся сложнотермических групп при повышении температуры.

В процессе высокотемпературной обработки пленок возникают условия для протекания реакций между гидроксильными и карбоксильными группами:

— реакции внутримолекулярная и межмолекулярная между гидроксильными и карбоксильными группами КМЦ;

— реакции между гидроксильными группами КМЦ и карбоксильными группами дикарбоновых кислот;

— реакции между карбоксильными группами КМЦ и аминогруппами аминокислот.

Термообработку пленок КМЦ (содержание 15% сшивающего агента и 0,5% хлористоводородной кислоты от массы полимера), высушенных при комнатной температуре, проводили в течение 120 минут.

Таблица 2.

Влияние условий термообработки пленок КМЦ на степень их набухания

Table 2.

The influence of the conditions of heat treatment of CMC films on the degree of their swelling

Температура термообработки, °С Heat treatment temperature, °C	Степень набухания КМЦ пленок (α), содержащих кислоты Degree of swelling of CMC films (α) containing acids			
	глутаровую glutaric	адипиновую adipic	аминоуксусную aminoacetic	ϵ -аминокапроновую ϵ -aminocaproic
110	0,26	0,44	0,29	0,38
120	0,31	0,48	0,41	0,40
130	0,39	0,48	0,44	0,49
140	0,50	0,52	0,52	0,60

Увеличение температуры и продолжительности обработки во всех случаях приводит к уменьшению степени набухания. Вероятно, длительная термообработка при более высоких температурах может способствовать протеканию параллельных реакций сшивания и термической деструкции [15].

Для образования амидов кислот при термообработке в раствор вводили хлористоводородную кислоту, которая частично переводила

На-форму КМЦ в Н-форму, способную взаимодействовать с аминогруппой аминокислоты [17].

Наличие в КМЦ реакционноспособных групп — карбоксильных и гидроксильных — позволяет преобразовать линейные молекулы КМЦ в пространственную структуру. Для этого требуется использование бифункциональных соединений. В отличие от сшивания КМЦ бикарбоновыми кислотами, аминокислоты способны взаимодействовать как с гидроксильными, так и с карбоксильными группами КМЦ.

Заключение

Наименьшая степень набухания гелевых пленок, предназначенных для изготовления противоспаечных мембран, при взаимодействии с водой наблюдается у образцов с применением в качестве сшивающего агента глутаровой кислоты. При этом температура испарения растворителя находится в пределах от 20 до 30 °C.

Термическая обработка гелевых мембран с глутаровой кислотой при температуре 110 °C незначительно снижает степень набухания. Повышение температуры термической обработки приводит к увеличению этого показателя

для пленок со всеми используемыми сшивающими агентами.

Для дальнейших исследований гелевых пленок в качестве противоспаечных мембран определены следующие параметры их получения: в качестве сшивающего агента для КМЦ рекомендовано использовать глутаровую кислоту; получение пленок с наименьшей степенью набухания возможно при комнатной температуре испарения растворителя и дополнительной термической обработки при температуре 110 °C в течение 120 минут.

Литература

- 1 Winny M., Maegel L., Grethe L.V. et al. Treatment of de-peritonealized intestine with 4DryField® PH prevents adhesions between non-resorbable intra-peritoneal hernia mesh and bowel // *American journal of translational research*. 2016. V. 8. № 12. P. 5706.
- 2 Blázquez R., Sánchez-Margallo F.M., Álvarez V. Fibrin glue mesh fixation combined with mesenchymal stem cells or exosomes modulates the inflammatory reaction in a murine model of incisional hernia // *Acta biomaterialia*. 2018. V. 71. P. 318-329. doi: 10.1016/j.actbio.2018.02.014
- 3 Chen C.H., Chen S.H., Mao S.H. et al. Injectable thermosensitive hydrogel containing hyaluronic acid and chitosan as a barrier for prevention of postoperative peritoneal adhesion // *Carbohydrate polymers*. 2017. V. 173. P. 721-731. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.06.019
- 4 Беженарь В.Ф., Цыпурдеева А.А., Байлюк Е.Н. Спаечная болезнь органов малого таза у гинекологических больных: от патогенеза к практике // *Онкогинекология*. 2014; № 4. С. 68-74.
- 5 Тихомиров А.Л., Манухин И.Б., Казенашев В.В. и др. Профилактика спаечного процесса и его осложнений в оперативной гинекологии // *Российский вестник акушера-гинеколога*. 2016. № 16(5). С. 100-105.
- 6 Попов А.А., Мананникова Т.Н., Колесник Н.А., Рамазанов М.Р. и др. Применение противоспаечных препаратов в программе хирургического лечения трубно-перитонеального бесплодия // *Журнал акушерства и женских болезней*. 2012. № 61 (4). С. 97-103.
- 7 Ткаченко Л.В., Свиридова Н.И., Веровская Т.А., Хохлова Р.Р. Профилактика спаечной болезни как этап ранней реабилитации репродуктивной функции после миомэктомии // *Акушерство и Гинекология*. 2019. № 1. С. 118-124.
- 8 Лазаренко В.А., Липатов В.А., Бежин А.И. и др. Пути поиска эффективных методик профилактики и лечения послеоперационного спаечного процесса брюшной полости // *Экспериментальная и клиническая хирургия: проблемы и решения. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Курск: КМГУ, 2016. С. 125-127.*
- 9 Мешкова О.А., Богданов Д.Ю., Матвеев Н.Л., Курганов И.А. Применение современных противоспаечных препаратов в хирургии. Эндоскопическая хирургия. 2015. № 21(3). С. 37-42.
- 10 Адамян Л.В., Козаченко А.В., Кондратович Л.М. Спаечный процесс в брюшной полости: история изучения, классификация, патогенез (обзор литературы) // *Проблемы репродукции*. 2013. № 19(6) С. 7-13.
- 11 Кондратович Л.М. Основы понимания формирования спаечного процесса в брюшной полости. Интраоперационная профилактика противоспаечными барьерными препаратами (обзор литературы) // *Вестник новых медицинских технологий*. 2014. № 21 (3). С. 169-172.
- 12 Звягин И.Н., Фролова О.Г., Липатов В.А. и др. Влияние лекарственных препаратов, депонированных в средстве «МЕЗОГЕЛЬ», на его противоспаечную активность в эксперименте // *Современные проблемы науки и образования*. 2018. № 6. С. 89.
- 13 Алиев С.Р., Силуянов С.В. Первый опыт применения противоспаечной коллагеновой мембраны при операциях на органах брюшной полости и малого таза // *Русский медицинский журнал*. 2015. № 13. С. 789-796.
- 14 Park H., Baek S., Kang H., Lee D. Biomaterials to Prevent Post- Operative Adhesion // *Materials*. 2020. V. 13. № 14. P. 3056. doi: 10.3390/ma13143056
- 15 Липатов В.А., Пучкова Е.Л., Наимзада М.Д.З. Измерение физико-механических характеристик медицинских изделий для оценки их манипуляционных свойств // *Хирургия и онкология: эксперимент и клиника. Сборник научных трудов и материалов научно-практической конференции с международным участием*. 2020. С. 28-30.
- 16 Насонова М. В., Ходыревская Ю. И., Бураго А. Ю. и др. Противовоспалительные биodeградируемые мембраны для профилактики образования послеоперационных спаек // *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2014. № 131(8). С. 54-59
- 17 Суковатых Б.С., Жуковский В.А., Липатов В.А., Блинков Ю.Ю. Современные технологии профилактики послеоперационного спайкообразования // *Вестник хирургии*. 2014. Т. 173. № 5. С. 98-102.
- 18 Жуковский В.А., Немилев В.Е., Полянский А.В., Скворцова К.Е. Противоспаечные хирургические материалы с прогнозируемыми сроками рассасывания // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии. XIX Международный научно-практический форум SMARTEX-2016. Иваново, 2016. С. 134-142.*

19 Затолокина М.А., Инархов М.А., Липатов В.А., Ярмamedов Д.М. Изучение особенностей реактивных изменений тканей на подкожную имплантацию новых рассасывающихся мембран на основе карбоксиметилцеллюлозы в экспериментах «in vivo» // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 5. С. 52.

20 Baek S., Park H., Park Y. et al. Development of a Lidocaine-Loaded Alginate/CMC/PEO Electrospun Nanofiber Film and Application as an Anti-Adhesion Barrier // Polymers. 2020. V. 12. №. 3. P. 618. doi: 10.3390/polym12030618

References

1 Winny M., Maegel L., Grethe L.V. et al. Treatment of de-peritonealized intestine with 4DryField® PH prevents adhesions between non-resorbable intra-peritoneal hernia mesh and bowel. American journal of translational research. 2016. vol. 8. no. 12. pp. 5706.

2 Blázquez R., Sánchez-Margallo F.M., Álvarez V. Fibrin glue mesh fixation combined with mesenchymal stem cells or exosomes modulates the inflammatory reaction in a murine model of incisional hernia. Acta biomaterialia. 2018. vol. 71. pp. 318-329. doi: 10.1016/j.actbio.2018.02.014

3 Chen C.H., Chen S.H., Mao S.H. et al. Injectable thermosensitive hydrogel containing hyaluronic acid and chitosan as a barrier for prevention of postoperative peritoneal adhesion. Carbohydrate polymers. 2017. vol. 173. pp. 721-731. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.06.019

4 Bezhenar V.F., Tsypudeeva A.A., Bajlyuk E.N. Pelvic adhesive disease in gynecologic patients: from pathogenesis to practice. Oncogynecology. 2014. no. 4. pp.68-74. (in Russian).

5 Tikhomirov A.L., Manukhin I.B., Kazenashev V.V. et al. Prevention of a commissural process and its complications in operative gynecology. Russian bulletin of obstetrician-gynecologist. 2016. no. 16(5). pp. 100-105. (in Russian).

6 Popov A.A., Manannikova T.N., Kolesnik N.A., Ramazanov M.R. et al. Antiadhesion barriers application in infertile patients with pelvic adhesions. Journal of obstetrics and women's diseases. 2012. no. 61 (4). pp. 97-103. (in Russian).

7 Tkachenko L.V., Sviridova N.I., Verovskaya T.A., Khokhlova R.R. Prevention of peritoneal adhesions as a stage of early rehabilitation of reproductive function after myomectomy. Obstetrics and Gynecology. 2019. no. 1. pp. 118-124. (in Russian).

8 Lazarenko V.A., Lipatov V.A., Bezhin A.I. et al. Ways to find of effective methods of prevention and treatment of postoperative abdominal adhesions. Experimental and clinical surgery: problems and solutions. Collection of materials of the Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Kursk, KMSU, 2016. pp. 125-127. (in Russian).

9 Meshkova O.A., Bogdanov D. Yu., Matveev N.L., Kurganov I.A. Application of modern anti-adhesive agents in surgery. Endoscopic surgery. 2015. no. 21(3). pp. 37-42. (in Russian).

10 Adamyan L.V., Kozachenko A.V., Kondratovich L.M. Peritoneal adhesions: the history of research, classification and pathogenesis (a review). Russian Journal of Human Reproduction. 2013. no. 19(6). pp. 7-13. (in Russian).

11 Kondratovich L.M. The basics for comprehension of adhesive process formation in abdominal cavity. Perioperative prevention by means of anti-adhesive drugs (review of literature). Journal of New Medical Technologies. 2014. no. 21 (3). pp. 169-172. (in Russian).

12 Zvyagin I.N., Frolova O.G., Lipatov V.A. et al. Influence of pharmaceuticals products deposited in the MEZOGEL on its anti-adhesive activity in the experiment. Modern problems of the Science and Education. 2018. no. 6. pp. 89. (in Russian).

13 Aliev S.R., Siluyanov S.V. The first experience of using anti-adhesive collagen membrane in operations on the abdominal cavity and pelvic organs. Russian Medical Journal. 2015. no. 13. pp.789-796. (in Russian).

14 Park H., Baek S., Kang H., Lee D. Biomaterials to Prevent Post- Operative Adhesion. Materials. 2020. vol. 13. no. 14. pp. 3056. doi: 10.3390/ma13143056

15 Lipatov V.A., Puchkova E.L., Naimzada M.D.Z. Measurement of physical and mechanical characteristics of medical devices to evaluate their manipulative properties. Surgery and oncology: experiment and clinic. Collection of scientific works and materials of a Scientific-Practical Conference with international participation. 2020. pp. 28-30. (in Russian).

16 Nasonova M.V., Khodyrevskaya Yu. I., Burago A. Yu. et al. Anti-inflammatory effects of biodegradable membranes in prevention of postoperative adhesion formations. Siberian Medical Journal (Irkutsk). 2014. no. 131(8). pp. 54-59. (in Russian).

17 Sukovatykh B.S., Zhukovsky V. A., Lipatov V. A., Blinkov Yu. Yu. Modern technologies of prevention of postoperative adhesive formations. The Bulletin of Surgery. 2014. vol. 173. no. 5. pp. 98-102. (in Russian).


18 Zhukovsky V.A., Nemilov V.E., Polyansky A.V., Skvortsova K.E. Anti-adhesive surgical materials with predicted terms of resorption. Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies. XIX International Scientific-Practical Forum SMARTEX-2016. Ivanovo, 2016. pp. 134-142. (in Russian).

19 Zatolokina M.A., Inarkhov M.A., Lipatov V.A., Yarmamedov D.M. Study of the features of reactive tissue changes on subcutaneous implantation of new absorbable membranes based on carboxymethylcellulose in experiments "in vivo". Modern Problems of Science and Education. 2016. no. 5. pp. 52. (in Russian).

20 Baek S., Park H., Park Y. et al. Development of a Lidocaine-Loaded Alginate/CMC/PEO Electrospun Nanofiber Film and Application as an Anti-Adhesion Barrier. Polymers. 2020. vol. 12. no. 3. pp. 618. doi: 10.3390/polym12030618


Сведения об авторах

Валерий А. Жуковский д.т.н., профессор, кафедра наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов им. А.И. Меоса, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, 191186, Россия, rdd.lintex@gmail.com


 <https://orcid.org/0000-0001-7092-9155>

Information about authors


Valeriy A. Zhukovskiy Cand. Sci. (Engin.), professor, nanostructured, fiber and composite materials. A.I. Meosa department, Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Bolshaya Morskaya Street, 18, Saint-Petersburg, 191186, Russia, rdd.lintex@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7092-9155>


Вячеслав Е. Немилов ведущий инженер, НИИ Спецматериалов, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, 191186, Россия, vyachnem@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4500-1862>


Татьяна С. Филипенко к.т.н., директор Центра сопровождения научных разработок, НИИ Спецматериалов, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, 191186, Россия, tanek-f@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7878-6371>


Татьяна Ю. Анущенко ведущий инженер, НИИ Спецматериалов, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, 191186, Россия, atu0106@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9266-0756>


Vyacheslav E. Nemilov leading engineer, Research Institute of Special Materials, Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Bolshaya Morskaya Street, 18, Saint-Petersburg, 191186, Russia, vyachnem@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4500-1862>

Tatyana S. Filipenko Cand. Sci. (Engin.), director of the center for support of scientific developments, Research Institute of Special Materials, Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Bolshaya Morskaya Street, 18, Saint-Petersburg, 191186, Russia, tanek-f@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7878-6371>

Tatyana Yu. Anuschenko leading engineer, Research Institute of Special Materials, Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Bolshaya Morskaya Street, 18, Saint-Petersburg, 191186, Russia, atu0106@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9266-0756>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 17/04/2021	После редакции 12/05/2021	Принята в печать 31/05/2021
Received 17/04/2021	Accepted in revised 12/05/2021	Accepted 31/05/2021