

Министерство образования Республики Беларусь

УО «Витебский государственный технологический университет»

УДК 677.494  
Рег. № 20211001



Утверждаю  
Первый проректор  
В.А. Жизневский  
« 30 » 12 2025 г.

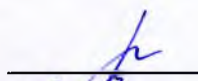
**ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

**Разработка неоднородных функциональных нановолокнистых  
материалов и покрытий медицинского и косметологического  
назначения**


(заключительный)

2021-Г/Б-366

Научный руководитель НИР,  
д.т.н., профессор

  
« 30 » 12 2025 г. Д.Б. Рыклин

Начальник НИЧ

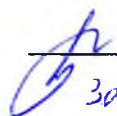
  
« 30 » 12 2025 г. В.А. Сажин

Витебск 2025

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР:


д.т.н., профессор

  
30.12.2015

Д.Б. Рыклин (общее руководство, разделы 1.1, 1.4, 2.2, 3.2, 4.2, 5.4 – 5.6, 5.8, 5.9, 6.7, 6.9.1, 7.3, 7.4, 8.6, 8.7, 8.8)


Исполнители темы:

к.т.н., ст. преп.

  
30.12.2015

М.А. Демидова (разделы 1.2, 1.3, 1.5, 2.1, 3.1, 3.3, 5.1 – 5.3, 5.7, 5.10, 5.11, 6.4, 6.5, 7.2, 8.1, 8.3)

к.т.н., доц.

  
30.12.2015

Н.В. Скобова (разделы 4.1, 4.3, 6.3)

к.фарм.н., доц.




С.Э. Ржеусский (разделы 5.7, 6.9.2, 7.4, 8.2)

к.м.н., доц.



В.Д. Меламед (раздел 8.10)

аспирант

  
30.12.2015

М.С. Карнилов (разделы 6.1, 6.2, 6.8, 7.1, 8.4, 8.5, 8.9)

Нормоконтроль



М.А. Демидова

## Реферат

Отчёт 189 с., 8 ч., 92 рис., 57 табл., 17 форм., 97 источников.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ, НАНОВОЛОКНО, ПОЛИВИНИЛОВЫЙ СПИРТ, АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ, БИОДЕГРАДАЦИЯ

Объектом исследований являются нановолокнистые материалы, получаемые методом электроформования.

Цель работы – создание новых видов нановолокнистых материалов и покрытий с заданным комплексом свойств для медицины и косметологии.

Осуществлена разработка метода оценки адгезии нановолокнистого покрытия, полученного методом электроформования к материалу подложки. Определено влияние частоты вращения осадительного электрода на ориентацию полимерных нановолокон и разрывную нагрузку получаемого материала.

Предложена методика приготовления раствора с содержанием фиброина шелка для получения биodeградирующих нановолокнистых материалов. Получены зависимости вязкости прядильных растворов от их состава. Разработана гемостатическая пленка, обеспечивающая эффективное достижение гемостаза. Разработаны прядильные растворы с добавлением низкомолекулярной гиалуроновой кислоты, а также янтарной кислоты.

Выявлены математические модели, позволяющие оценить механизм функционирования систем таргет-доставки лекарств, которые могут использоваться для создания нановолокнистых материалов, покрытий и структур, обеспечивающих оптимальные условия высвобождения инкапсулированного в нановолокно лекарства. Установлено влияние радиационной стерилизационной обработки нановолокнистых медицинских изделий на профиль растворения многослойных материалов.

Исследован процесс нанесения нановолокнистого покрытия на различные биodeградирующие подложки. Установлено, что для стабильного нанесения нановолокнистого покрытия на биodeградирующие подложки необходимо повышать разность потенциалов эмиттера и коллектора.

Проведены исследования антимикробной активности водорастворимой плёнки. Для разработки двухслойных материалов рекомендованы подложки минимальной толщины на основе ПВС с добавлением компонентов, повышающих их эластичность.

Разработаны рекомендации по получению и использованию сорбирующих материалов с нановолокнистыми покрытиями.

Исследования проводились в лабораториях УО «ВГТУ», УО «ВГМУ» и УО «ГрГМУ».

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Определение влияния вида подложки и режимов электроформования на степень адгезии нановолокнистых материалов разного состава.....	8
1.1 Характеристика процесса электроформования.....	8
1.2 Анализ материалов, используемых в качестве подложки для электроформования нановолокнистых материалов.....	11
1.3 Оценка адгезии нановолокнистого покрытия к подложке.....	14
1.4 Обоснование возможности использования разрывной машины для оценки адгезии нановолокнистых материалов.....	17
1.5 Определение влияния добавления таргет-компонента в прядильный раствор и вида подложки на адгезию нановолокнистого покрытия.....	22
2 Определение влияния ориентации нановолокон на свойства нановолокнистых материалов.....	25
2.1 Исследование влияния частоты вращения осадительного электрода на ориентацию электроформованных нановолокон.....	25
2.2 Исследование влияния ориентации нановолокон на физико-механические свойства электроформованных материалов.....	30
3 Определение влияния составов волокнообразующих растворов на свойства неоднородных нановолокнистых материалов.....	32
3.1 Применение электроформованных материалов в медицине и косметологии.....	32
3.2 Синтетические полимеры в медицине и косметологии.....	34
3.3 Природные полимеры в медицине.....	36
4 Исследование свойств прядильных растворов из различных видов биodeградирующих полимеров.....	39
4.1 Оценка свойств прядильных полимерных композиций для электроформования нановолокнистого материала.....	39
4.2 Приготовление растворов с добавлением фиброина шелка для электроформования.....	47
4.3 Анализ вязкости композиций растворов с фиброином шелка.....	49
5 Исследование процесса электроформования многослойных материалов из волокнообразующих полимеров и таргет-компонентов различного вида.....	53
5.1 Области применения многослойных нановолокнистых материалов.....	53
5.2 Определение рациональных параметров электроформования неоднородных нановолокнистых материалов.....	56
5.3 Обоснование закона распределения нановолокон по диаметру в материалах, полученных методом электроформования.....	63

5.4	Исследование структуры нановолокнистых материалов с добавлением фиброина шелка.....	70
5.5	Разработка двухслойного нановолокнистого материала, содержащего фиброин шелка.....	73
5.6	Получение двухслойного материала с использованием диализированного раствора фиброина шелка.....	77
5.7	Разработка однослойной нановолокнистой гемостатической пленки.....	78
5.8	Разработка двухслойной гемостатической пленки с различным профилем биodeградации.....	83
5.9	Разработка нановолокнистых материалов косметологического назначения с добавлением других видов таргет-компонентов.....	85
5.10	Определение физико-механических свойств многослойных нановолокнистых материалов.....	89
5.11	Разработка рекомендаций по хранению и использованию многослойных материалов.....	93
5.11.1	Рекомендации по хранению и использованию многослойных материалов.....	93
5.11.2	Влияние стерилизационной обработки на свойства нановолокнистых материалов.....	94
6	Разработка частично биodeградирующих нановолокнистых материалов различной структуры из растворов, содержащих полимеры разной природы.....	98
6.1	Обоснование выбора волоконообразующих полимеров для создания частично биodeградирующих нановолокнистых материалов.....	98
6.2	Разработка композиций прядильных растворов для электроформования нановолокнистых материалов.....	99
6.3	Измерение вязкости прядильных растворов.....	101
6.4	Исследование изменения динамической вязкости прядильных растворов для электроформования при хранении.....	103
6.5	Определение поверхностного натяжения и удельной электропроводимости прядильных растворов.....	105
6.6	Электроформование нановолокнистых материалов из растворов различных полимеров.....	106
6.7	Определение диаметров нановолокнистых покрытий. Оценка закона распределения нановолокон.....	109
6.8	Разработка двухслойных нановолокнистых раневых покрытий.....	117
6.9	Характеристика областей применения разработанных материалов....	122
6.9.1	Косметология.....	122
6.9.2	Медицина.....	123

7	Разработка материалов с нановолокнистыми покрытиями на биodeградирующей подложке.....	125
7.1	Исследование влияния режимов процесса электроформования на морфологию получаемых материалов.....	125
7.2	Поиск рациональных режимов процесса нанесения покрытия на водорастворимую пленку методом электроформования.....	131
7.3	Анализ структуры нановолокнистых покрытий, нанесенных на биodeградирующие подложки разного вида.....	139
7.4	Разработка рекомендаций по получению и использованию биodeградирующих материалов с нановолокнистыми покрытиями.....	143
8	Разработка материалов с нановолокнистыми покрытиями на сорбирующей подложке.....	146
8.1	Анализ ассортимента сорбирующих материалов и изделий медицинского назначения.....	146
8.2.	Получение антисептических пленок методом электроформования.....	150
8.3	Сравнительные исследования процесса электроформования нановолокнистых материалов из растворов хитозана различного происхождения.....	157
8.4	Исследование влияния добавок в растворах хитозана на процесс электроформования.....	159
8.5	Влияние состава прядильного раствора хитозана и поливинилового спирта на режимы процесса электроформования.....	161
8.6	Влияние пропитки альгинатом натрия на формирование нановолокнистой структуры на подложке из спанлейса.....	163
8.7	Влияние глицерина в растворе хитозана с ПВС на морфологию и свойства нановолокнистого материала.....	165
8.8	Исследование влияния глицерина на жёсткость сорбирующей подложки.....	167
8.9	Оценка гигроскопичности и капиллярности сорбирующей подложки.....	168
8.10	Разработка рекомендаций по получению и использованию материалов с нановолокнистыми покрытиями.....	172
	Заключение.....	179
	Список использованных источников.....	182

## ВВЕДЕНИЕ

Нановолокна являются одной из основных разновидностей нанообъектов и наряду с наночастицами и нанопластинами служат основой для создания всего многообразия наноструктурированных материалов. Наиболее перспективным способом создания нановолокнистых материалов является электроформование нановолокон из растворов полимеров под действием электростатических сил.

В настоящее время рядом зарубежных исследовательских центров ведутся работы по созданию новых нановолокнистых материалов для медицины. Достоинством таких материалов является их повышенная площадь поверхности, способствующая увеличению степени воздействия биологически активных веществ на взаимодействующую с материалом область тела человека. При этом достигается существенный эффект при минимальном количестве активных веществ, что снижает риск аллергических реакций.

Разработка новых нановолокнистых материалов медицинского назначения является актуальной научно-технической задачей, что подтверждается тем фактом, что согласно результатам Комплексного прогноза научно-технического прогресса на 2021–2025 гг. и на период до 2040 г. материалы и изделия медицинского и косметологического назначения из нановолокнистых материалов или с нановолокнистыми покрытиями включены в перечень товаров, для производства и внедрения которых необходимы дополнительные ресурсы для развития промышленной базы и/или подготовки кадров.

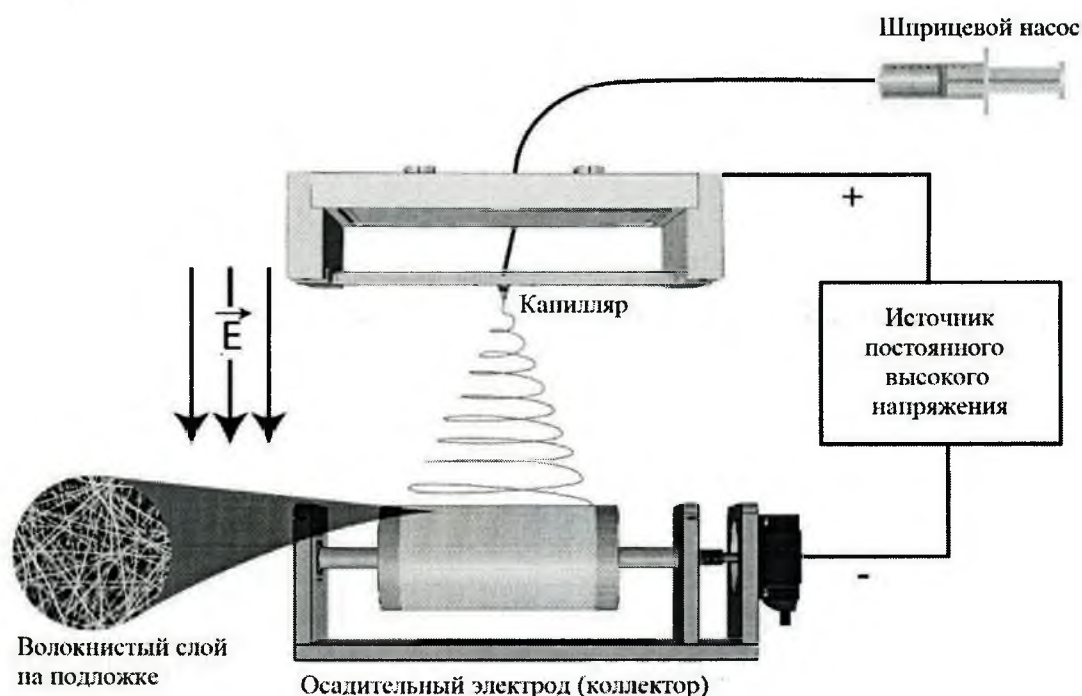
Цель. Работы являлось создание новых видов нановолокнистых материалов и покрытий с заданным комплексом свойств для медицины и косметологии.

Работа соответствует приоритетному направлению научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021 – 2025 годы «Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии и основанные на них производства», пункт «Наноматериалы и нанотехнологии, нанодиагностика».

# 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ПОДЛОЖКИ И РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ НА СТЕПЕНЬ АДГЕЗИИ НАНОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗНОГО СОСТАВА

## 1.1 Характеристика процесса электроформования

Электроформование (ЭФ) – это процесс, который приводит к формированию нановолокон в результате действия электростатических сил на электрически заряженную струю полимерного раствора или расплава. На рисунке 1.1 представлена принципиальная схема работы установки для электроформования.



**Рисунок 1.1 – Схема получения нановолокнистых материалов методом электроформования**

Электрическое напряжение от единиц до ста киловольт (обычно 10 – 60 кВ) прикладывается к раствору (расплаву) полимера, который при помощи шприцевого насоса подается через капилляр. Высокое напряжение создает в растворе полимера одноименные электрические заряды, которые, в результате кулоновского электростатического взаимодействия, приводят к вытягиванию раствора полимера в тонкую струю. В процессе электростатического вытягивания полимерной струи она может претерпевать ряд последовательных расщеплений на более тонкие струи при определенном соотношении значений вязкости, поверхностного натяжения и плотности электрических зарядов (или напряженности электростатического поля) в волокне. Это первая стадия процесса, от ее стабильности будут зависеть желаемые свойства волокнистых материалов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матвеев, А. Т. Получение нановолокон методом электроформования : учеб. пособие // А. Т. Матвеев, И. М. Афанасов. – Москва : МГУ им. Ломоносова, 2010. – 83 с.
2. Ramakrishna, S. Electrospun nanofibers: solving global issues / S. Ramakrishna [et.al.] // *Materials Today*. – 2006. – Vol. 9. – P. 40–50.
3. Ishchenko, O. Producing of nonwoven materials by electrospinning the biocompatible polymers with chitosan addition / O. Ishchenko [et. al.] // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2018. – Vol. 5. – P. 4–7.
4. Черников, И. И. Анализ структуры двухслойного нановолокнистого материала косметологического назначения / И. И. Черников, Д. Б. Рыклин // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы: сб. материалов XXV Междунар. науч.-практ. форума SMARTEX-2022, 6–7 октября 2022 года*. – Иваново: ИВГПУ, 2022. – С. 360–365.
5. Taylor, G. Electrically driven jets / G. Taylor // *Proceedings of the Royal Society of London*. – 1969. – Vol. 313. – P. 453–475.
6. Kundu, B. Silk fibroin biomaterials for tissue regenerations / B. Kundu [et. al.] // *Adv. Drug Deliv. Rev.* – 2013. – Vol. 65. – P. 457–470.
7. Wen, D. L. Recent progress in silk fibroin-based flexible electronics / D. L. Wen [et. al.] // *Microsyst. Nanoeng.* – 2021. – Vol. 7. – P. 35–60.
8. Cosmobase. Косметическая база [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://cosmobase.ru/handbook/show/ROSEWOOD\\_ESSENTIAL\\_OIL](https://cosmobase.ru/handbook/show/ROSEWOOD_ESSENTIAL_OIL). – Дата доступа: 06.12.2025.
9. Maia, J. G. S. Plant sources of Amazon rosewood oil / J. G. S. Maia [et. al.] // *Qui'm Nova*. – 2007. – Vol. 30(8). – P. 1906–1910.
10. Sakamoto, H. Nanofiber-guided orientation of electrospun carbon nanotubes and fabrication of aligned CNT electrodes for biodevice applications / H. Sakamoto [et. al.] // *Materials Chemistry and Physics*. – 2020. – Vol. 245. – Article 122745.
11. Dorati, R. The effect of process parameters on alignment of tubular electrospun nanofibers for tissue regeneration purposes / R. Dorati [et. al.] // *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. – 2020. – Vol. 58. – Article 101781.
12. Rickel, A.P. Electrospun nanofiber scaffold for vascular tissue engineering / A.P. Rickel, X. Deng, D. Engebretson, Z. Hong // *Materials Science and Engineering: C*. – 2021. – Vol. 129. – Article 112373.
13. Eom, S. Fabrication of an align-random distinct, heterogeneous nanofiber mat endowed with bifunctional properties for engineered 3D cardiac anisotropy / S. Eom [et. al.] // *Composites Part B: Engineering*. – 2021. – Vol. 226. – Article 109336.
14. Pozzobon, L.G. Development of a conduit of PLGA-gelatin aligned nanofibers produced by electrospinning for peripheral nerve regeneration / L.G.

Pozzobon [et. al.] // *Chemico-Biological Interactions*. – 2021. – Vol. 348. – Article 109621.

15. Arras, M.L. Electrospinning of aligned fibers with adjustable orientation using auxiliary electrodes / M.L. Arras [et. al.] // *Sci. Technol. Adv. Mater.* – 2012. – Vol. 13. – Article 035008.

16. Li, L. Highly aligned PAN nanofiber bundles prepared via a novel Venturi tube high-speed airflow drafting (VAD) method / L. Li [et. al.] // *Materials Letters*. – 2021. – Vol. 302. – Article 130383.

17. Демидова, М. А. Анализ влияния скоростного режима электроформования на структуру и свойства нановолокнистых материалов / М. А. Демидова, Д. Б. Рыклин // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2021. – № 2 (41). – С. 9 – 15.

18. Lim, S.H. Electrospun scaffolds for stem cells engineering / S.H. Lim, H.Q. Mao // *Adv Drug Delivery Rev.* – 2009. – Vol. 61. – P. 1084–1096.

19. Sill, T. J. Electrospinning: Applications in drug delivery and tissue engineering / T.J. Sill, H. A. Von Recum // *Biomaterials*. – 2008. – Vol. 29. – P. 1989–2006.

20. Agawal, S. Use of electrospinning technique for bio-medical applications / S. Agawal, H. Wendorff, A. Greiner // *Polymer*. – 2008. – Vol. 49. – P. 5603–5621.

21. Применение поливинилового спирта в медицине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sardiko.ru/articles/primeneniepolivinilovogo-spirta-v-medicine/>. – Дата доступа: 06.12.2025.

22. Новости полимерной индустрии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://plastinfo.ru/information/articles/690/>. – Дата доступа: 06.12.2025.

23. Сложные полиэфиры: полилактид и поликапролактон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2017/01/77253>. – Дата доступа: 06.12.2025.

24. Costa, M.P. Combined polyglycolic acid tube and autografting versus autografting or polyglycolic acid tube alone. A comparative study of peripheral nerve regeneration in rats / M.P. Costa, N.H. Teixeira, M.V. Longo [et. al.] // *Acta Cir Bras*. – 2015. – Vol. 30(1). – P. 46–53.

25. Alhusein, N. Electrospun matrices for localised controlled drug delivery: release of tetracycline hydrochloride from layers of polycaprolactone and poly(ethylene-co-vinyl acetate) / N. Alhusein, I.S. Blagbrough, P.A. De Bank // *Drug Deliv Transl Res*. – 2012. – Vol. 2(6). – P. 477–488.

26. Материалы сайта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://perst.issp.ras.ru/Control/Inform/perst/>. – Дата доступа: 06.12.2025.

27. Калинин, О. В. In vitro деградация хитозановых мембран с различными условиями синтеза / О. В. Калинин, М. В. Погорелов, И. М. Бабич // *Биомедицинская химия*. – 2014. – Том 60(6). – С. 636–642.

28. Dawson, J. Collagen scaffolds with or without the addition of RGD peptides support cardiomyogenesis after aggregation of mouse embryonic stem cells / J. Dawson, O. Schussler, A. Al-Madhoun // *In Vitro Cell Dev Biol Anim.* – 2011. – Vol. 47(9). – P. 653–664.

29. Kretzschmar, M. Characterization of the collagen component of cartilage repair tissue of the talus with quantitative MRI: comparison of T2 relaxation time measurements with a diffusion-weighted double-echo steadystate sequence (dwDESS) / M. Kretzschmar, O. Bieri, M. Miska // *Eur Radiol.* – 2015. – Vol. 25(4). – P. 980–986.

30. Агапов, И. И. Биodeградируемые матриксы из регенерированного шелка *Bombyx mori* / И. И. Агапов, М. М. Мойсенович, Т. В. Васильева [и др.] // Доклады академии наук. – 2010. – Том 433. – № 5. – С. 699–702.

31. Мойсенович, М. М. Композитные матриксы на основе фиброина шелка, желатина и гидроксипатита для регенеративной медицины и культивирования клеток в трехмерной культуре / М. М. Мойсенович, А. Ю. Архипова, А. А. Орлова [и др.] // *Acta Natur.* – 2014. – Том 6. – № 1 (20). – С. 103–109.

32. Vepari, C. Silk as a biomaterial / C. Vepari, D.L. Kaplan // *Prog Polym Sci.* – 2007. – Vol. 32(8–9). – P. 991–1007.

33. Глицерин в медицине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mplast.by/encyklopedia/fiziologicheskii-aktivnyie-polimeryi/>. – Дата доступа: 06.12.2025.

34. Демидова, М. А. Влияние композиций электроформовочных растворов на их основные свойства / М. А. Демидова // *Материалы и технологии.* – 2022. – № 2 (10). – С. 48–53.

35. Петров, А.В. Критериальные параметры оценки растворов полимеров для электроформования волокон / А. В. Петров, И. Д. Симонов-Емельянов, Ю. Н. Филатов // *Вестник МИТХТ.* – 2012. – Том 7. – №5. – С. 103–107.

36. Arianto, D., Edikresnha, D., Suciati, T., Khairurrijal. The initial study of poly-vinyl alcohol/honey/glycerin composite fibers // *Materials Today: Proceedings* – 2021. – V. 44. – p. 3408-3411.

37. Angamma, C. J. A theoretical understanding of the physical mechanisms of electrospinning / C. J. Angamma, S. H. Jayaram // *Proceedings of ESA Annual Meeting on Electrostatics.* – 2011. – P. 1–9.

38. Nanofibers are the future of your products [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elmarco.com/>. – Дата доступа: 06.12.2025.

39. Ellison, C. J. Melt blown nanofibers: fiber diameter distributions and onset of fiber breakup / C. J. Ellison [et. al.] // *Polymer.* – 2007. – Vol. 48. – P. 3306–3316.

40. Dosunmu, O. O. Electrospinning of polymer nanofibres from multiple jets on a porous tubular surface / O. O. Dosunmu [et.al.] // *Nanotechnology.* – 2006. – Vol. 17. – P. 1123–1127.

41. Tan, D. H. Meltblown fibers: Influence of viscosity and elasticity on diameter distribution / D. H. Tan [et.al.] // *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. – 2010. – Vol. 165. – P. 892–900.
42. Varabhas, J. S. Electrospun nanofibers from a porous hollow tube / J. S. Varabhas, G. G. Chase, D. H. Reneker // *Polymer*. – 2008. – Vol. 49. – P. 4226–4229.
43. Tsimliaraki, A. Optimizing the nanofibrous structure of nonwoven mats of electrospun biodegradable polymer nanocomposites / A. Tsimliaraki [et. al.] // *Latest Advances in High Tech Textiles and Textile-Based Materials*. – 2009. – P. 128–133.
44. Milašius, R. Possibilities for the estimation of electrospun nanofiber diameter distribution by normal (Gaussian) distribution / R. Milašius, J. Malašauskiene, E. Kuchanauskaite // *Fibres and textiles in Eastern Europe*. – 2016. – Vol. 24. – P. 23–28.
45. Колмогоров, А. Н. О логарифмически нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении / А. Н. Колмогоров // *ДАН СССР* 31. – 1941. – Том 2. – С. 99–101.
46. Филиппов, А. Ф. О распределении размеров частиц при дроблении / А. Ф. Филиппов // *Теория вероятности и ее применение*. – 1961. – Том 6. – Выпуск 3. – С. 299–318.
47. Самойлова, Т. А. Разработка методов исследования процессов разьединения, разрыхления и очистки волокнистого сырья с использованием имитационных моделей : дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / Т. А. Самойлова. – Москва, 2017. – 185 с.
48. Самойлова, Т. А. Статистические аспекты моделирования рыхления клочков хлопка / Т.А. Самойлова [и др.] // *Технология текстильной промышленности*. – 2013. – № 1 (343). – С. 147–150.
49. Королев, В. Ю. О распределении размеров частиц при дроблении / В. Ю. Королев // *Информатика и ее применение*. – 2009. – Том 3. – Выпуск 3. – С. 60–68.
50. Рыклин, Д. Б. Обоснование закона распределения нановолокон по диаметру в материалах, полученных методом электроформования / Д. Б. Рыклин, М. А. Демидова, В. М. Азарченко, К. В. Скроцкая // *Технология текстильной промышленности. Известия высших учебных заведений*. – 2021. – № 4 (394). – С. 121–128.
51. Физиологически активные полимеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mplast.by/encyklopedia/fiziologicheski-aktivnyie-polimeryi/>. – Дата доступа: 01.12.2021.
52. Hajikhani, M., Emam-Djomeh, Z., Askari, G. Fabrication and characterization of mucoadhesive bioplastic patch via coaxial polylactic acid (PLA) based electrospun nanofibers with antimicrobial and wound healing application // *In-ternational Journal of Biological Macromolecules*. – 2021. – V. 172. – P. 143-153.

53. Ураков, А. Л. Метод стопроцентного гемостаза / А. Л. Ураков // Креативная хирургия и онкология. – 2020. №4. – С. 270-274.
54. Пахлеваян, В. Г. Гемостаз в хирургии паренхиматозных органов брюшной полости. Обзор литературы / В. Г. Пахлеваян, С. А. Колесников // Вестник хирургической гастроэнтерологии. – 2015. - №1-2. – С. 50-56.
55. Nouri, S. Efficacy and Safety of Ferric Chloride in Controlling Hepatic Bleeding; An Animal Model Study / S. Nouri, M.R. Sharif // Hepatitis Monthly. – 2014. - №6.
56. Местные гемостатические средства и пути их усовершенствования / Е.В. Будко [и др.] // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. - 2019. - №2. - С. 274-285.
57. Кобелевская, Н.В. Современные аспекты лекарственной гемостатической терапии / Н.В. Кобелевская // Вестник последипломного медицинского образования. – 2014. - №2. – С. 5-10.
58. Плотникова, Е. Ю. Актуальность антацидов и альгинатов в лечении за-болеваний органов пищеварения / Е. Ю. Плотникова // Лечащий врач. – 2015. – №2. - С. 58-64.
59. Дворецкий, Л. И. Сульфат железа в лечении железодефицитной анемии: позиции сохраняются / Л. И. Дворецкий // Терапевтический архив. – 2017. - №10. – С. 108-112.
60. Бейли, Д.Х. Обеспечение гемостаза, и контроля за десневой жидкостью: обязательное требование в современной стоматологии / Д.Х. Бейли, Д.Е. Фишер // Клиническая стоматология. – 2004. – № 2. – С. 34–35.
61. Руководство по инфекционному контролю в стационаре. пер. с англ. / под ред. Р. Венцеля, Т. Бревера, Ж-П. Бутцлера. – Смоленск: МАКМАХ, 2003. – 272 с.
62. Новицкая, В. А. Оценка специфической активности пленки медицинской с солями железа (III) и алюминия хлорида / В. А. Новицкая, С. В. Гвоздев, М. А. Демидова и [др.] // Сборник материалов 73-й научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Актуальные вопросы современной медицины и фармации», Витебск, 21–22 апреля 2021 г. / УО «ВГМУ». – Витебск, 2021. – С. 157–160.
63. Демидова, М. А. Анализ способов приготовления прядильных растворов для получения гемостатических пленок методом электроформования / М. А. Демидова, Д. Б. Рыклин, В. А. Молоток, С. Э. Ржеусский // Технология текстильной промышленности. Известия высших учебных заведений. – 2022. – № 4 (400). – С. 115–121.
64. Радиационная сшивка полимеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tecleor.tech/sfery-primeneniya/prochie-sfery-primeneniya/radiatsionnaya-sshivka-polimerov/>. – Дата доступа: 06.12.2025.
65. Бонцевич Д.Н. Хирургический шовный материал / Д.Н. Бонцевич // Проблемы здоровья и экологии. – 2005. - № 3(5). – С. 43-48.

66. Шулятникова О.А. Биомеханическое обоснование возможности использования полиамидного конструкционного материала для изготовления сложночелюстных протезов / О. А. Шулятникова, Г. И. Рогожников, Л. Е. Леонова, А. Г. Рогожников // Проблемы стоматологии. — 2012. — № 13(3). — С. 85–88.
67. Попова И. Н. Экономика производства и применения полимеризационных пластмасс / И. Н. Попова, Е. Д. Файнберг, Ю. Т. Лившиц. — Ленинград : Химия, 1977. — 200 с.
68. Петров А.В. Критериальные параметры оценки растворов полимеров для электроформования волокон / А.В. Петров, И.Д. Симонов-Емельянов, Ю.Н. Филатов // Вестник МИТХТ. — 2012. — 7(5). — с. 103-107.
69. Прищепенко Д. В. Нановолоконные покрытия на основе хитозана, полученные методом электроформования : дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06 / Д. В. Прищепенко. — Минск, 2022. — 140 с.
70. Рыклин, Д.Б. Оценка стабильности свойств растворов поливинилового спирта, применяемых для электроформования нановолокнистых материалов / Д. Б. Рыклин, В. М. Азарченко, М. А. Демидова // Всероссийская научно-практическая конференция «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий» : сборник материалов, Кострома, 4-5 апреля 2019 г. / ФГБОУ ВО Костромской государственный университет. — Кострома, 2019. — С. 167 – 169.
71. Рыклин, Д. Б. Разработка двухслойного нановолокнистого материала для косметологии / Д. Б. Рыклин, М. А. Демидова, И. И. Черников // Материалы докладов международной научно-технической конференции (ИСТАИ-2022). — 2022. — С. 27-30.
72. Косметология: энциклопедия [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://medportal.ru/enc/cosmetology/>. — Дата доступа: 06.12.2025.
73. Ржеусский, С. Э. Наночастицы серебра в медицине / С.Э. Ржеусский // Вестник Витебского государственного медицинского университета. — 2022. — № 21(2). — С. 15-24.
74. Кривошеев, А. Б. Генерализованная аргирия / А. Б. Кривошеев, Л. А. Хван, Д. Н. Бобохидзе [и др.] // Российский журнал кожных и венерических болезней. — 2018. — № 21(2). — С. 101-105.
75. Войнар, А.И. Микроэлементы в живой природе, Москва, Высшая Школа, 94 с. Микроэлементы в живой природе / А. И. Войнар. — Москва : Высш. школа, 1962. - 94 с.
76. Zhou, T. Electrospun tilapia collagen nanofibers accelerating wound healing via inducing keratinocytes proliferation and differentiation / T. Zhou, et al. // Colloids Surf. B Biointerfaces. — 2016. — № 143. — P. 415-422.
77. Uppal, R. Hyaluronic acid nanofiber wound dressing—production, characterization, and in vivo behavior / R. Uppal, et al. // J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater. — 2011. — № 97 (1). — P. 20-29.
78. Цыганова, А. А. Синтез композиционного материала на основе смеси фосфатов кальция и альгинат-хитозанового полиэлектролитного

комплекса / А. А. Цыганова, О. А. Голованова, А. Н. Еловский // Журнал неорганической химии. – 2020. – Т. 65, № 7. – С. 888–893. – DOI: 10.31857/S0044457X20070223.

79. Саньков, С. В. Современный ассортимент, свойства и перспективы совершенствования перевязочных средств для лечения ран / С. В. Саньков, А. В. Майорова, Б. Б. Сысуев, И. А. Ханалиева, И. В. Вихрова // Раны и раневые инфекции. – 2018. – Т. 5, № 2. – С. 24–31.

80. Электронная медицинская библиотека. Глава 8. Анализ ассортимента медицинских и фармацевтических товаров // Электронная медицинская библиотека. – 2025. – Режим доступа: <https://www.rosmedlib.ru/doc/ISBN9785970411063-0008/-esf2k2z11-tabrel-mode-pgs.html> (дата обращения: 03.01.2026).

81. Zhang, L. Advances in biodegradable absorbent materials for medical applications / L. Zhang, Y. Li, Y. Zhao // Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. – 2022. – Vol. 110, № 4. – P. 789–803.

82. Chen, Y. Research advances in smart responsive-hydrogel dressings with potential clinical diabetic wound healing properties / Y. Chen, X. Wang, S. Tao [et al.] // Military Medical Research. – 2023. – Vol. 10. – Article 37. – DOI: 10.1186/s40779-023-00473-9.

83. Миклис, Н. И. Антимикробная активность перевязочного материала из нетканых полимерных нановолокон / Н. И. Миклис, И. С. Алексеев, И. И. Бурак, И. А. Дорошенко, А. Л. Гончаревич, Ю. С. Ладик // Вестник ВГМУ. – 2020. – № 5. – С. 73–80.

84. Liu, Q. Fabrication of multilayered nanofibrous scaffolds with antimicrobial properties containing drug via electrospinning for biomedical application / Q. Liu, H. Jia, W. Ouyang, Y. Mu, C. Wu [et al.] // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2021. – Vol. 9. – Art. 755777.

85. Шамина, О. В. *Klebsiella pneumoniae*: микробиологическая характеристика, антибиотикорезистентность и вирулентность / О. В. Шамина, Е. А. Самойлова, И. Е. Новикова, А. В. Лазарева // Российский педиатрический журнал. – 2020. – Т. 23, № 3. – С. 191–197. – DOI: 10.18821/1560-9561-2020-23-3-191-197.

86. Решедько, Г. К. Неферментирующие грамотрицательные возбудители нозокомиальных инфекций в ОРИТ России: проблемы антибиотикорезистентности / Г. К. Решедько, Е. Л. Рябкова, А. Н. Фаращук [и др.] // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2006. – Т. 8, № 3. – С. 243–259.

87. Абдулкадырова, А. Т. Антибиотикорезистентность: исследование механизмов антибиотикорезистентности и поиск новых подходов к лечению / А. Т. Абдулкадырова, П. П. Юсуппаева, Ф. С. Аджиева // Научный форум : сб. ст. IV Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 августа 2023 года. – Пенза : Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2023. – С. 134–136.

88. Gao, Z. Antibacterial and hemostatic bilayered electrospun nanofibrous wound dressings based on quaternized silicone and quaternized chitosan for wound healing / Z. Gao [et al.] // *European Polymer Journal*. – 2021. – Vol. 159. – Art. 110733.

89. Yu, J. Experimental study on decomposition and evaporation characteristics of N,N,N',N'-Tetramethylethylenediamine and 1,2,4-Triazole / J. Yu, S. W. Baek, S. J. Cho // *Energies*. – 2019. – Vol. 12. – Art. 3208. – DOI: 10.3390/en12173208.

90. Способ очистки и стерилизации культурального вируса ящура : пат. РФ 2054039 / Т. Н. Лезова, Н. А. Улупов, В. В. Борисов, В. В. Михалишин, А. И. Дудников, П. А. Гембицкий. – Оpubл. 1996.

91. Рыклин, Д. Б. Исследование влияния свойств растворов поливинилового спирта на структуру электроформованных материалов / Д. Б. Рыклин, Н. Н. Ясинская, М. А. Демидова, В. М. Азарченко, Н. В. Скобова // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2020. – Т. 2 (39). – С. 130–139.

92. Черников, И. И. Разработка двухслойного нановолокнистого материала с частицами серебра / И. И. Черников, С. Э. Ржеусский, Д. Б. Рыклин // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2023. – № 1 (44). – С. 67–76.

93. Получение гемостатических плёнок методом электроформования / М. А. Демидова [и др.] // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы (SMARTEX)*. – 2021. – Т. 1. – С. 206–211.

94. Государственная фармакопея Республики Беларусь. В 3 т. Т. 2. Контроль качества вспомогательных веществ и лекарственного растительного сырья / А. А. Шеряков. – Молодечно : Типография «Победа», 2008.

95. Lee, K. Y. Alginate: properties and biomedical applications / K. Y. Lee, D. J. Mooney // *Progress in Polymer Science*. – 2012. – Vol. 37, № 1. – P. 106–126.

96. Electrospun chitosan-based nanofibers and their cellular compatibility / N. Bhattarai, D. Edmondson, O. Veiseh, F. A. Matsen, M. Zhang // *Biomaterials*. – 2005. – Vol. 26, № 31. – P. 6176–6184.

97. Sill, T. J. Electrospinning: Applications in drug delivery and tissue engineering / T. J. Sill, H. A. von Recum // *Biomaterials*. – 2008. – Vol. 29, № 13. – P. 1989–2006.