

необходимости развития зеленых ИТ, т.к. использование онлайн-технологий в ближайшей перспективе будет увеличиваться. И кроме положительного влияния будет иметь и негативное воздействие. Следовательно, внедрение зеленых ИТ позволит повысить эффективность использования ресурсов и повысить экологическую устойчивость.

Список использованных источников

1. Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_57394/. – Дата доступа: 30.04.2023.
2. Официальный сайт The Climate Group [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.theclimategroup.org/>. – Дата доступа: 30.04.2023.
3. Научно-исследовательская деятельность. Официальный сайт Белорусского национального технического университета. – Режим доступа: <https://bntu.by/ru/science>. – Дата доступа: 30.04.2023.
4. Grand View Research. Smart Cities Market Size By Region, And Segment Forecasts, 2021 – 2028 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-cities-market>. – Дата доступа: 30.04.2023.
5. [Электронный ресурс] Национальный доклад по возобновляемым источникам энергии. Министерство энергетики Республики Беларусь, Международное агентство по возобновляемой энергетике (IRENA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/downloads/publishing/publishing_2021/20211130_irena_rb.pdf. – Дата доступа: 30.04.2023.
6. Greenpeace [Электронный ресурс] // Clicking Clean: Who Is Winning the Race to Build a Green Internet? – Режим доступа: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-international-stateless/2017/01/35f0ac1a-clickclean2016-hires.pdf>. – Дата доступа: 30.04.2023.

УДК 677.076.49 : 620.3

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ

Демидова М.А., асс., Рыклин Д.Б., д.т.н., проф.

*Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. Работа посвящена анализу исторических периодов развития технологии электроформования, описывает ее основные этапы и особенности технологических процессов и получаемых нановолокнистых материалов, покрытий и структур.

Ключевые слова: нановолокнистый материал, полимеры, технология, электроформование.

В настоящее время процесс получения нановолокон методом электроформования является одним из наиболее перспективных направлений разработки инновационных материалов для различных отраслей промышленности, начиная от медицины и косметологии и заканчивая созданием фильтров, катализаторов и хранителей энергии.

Целью данной статьи было описать исторические этапы развития технологии электроформования. Электроформование – это способ получения полимерных волокон в результате действия электростатических сил на электрически заряженную струю полимерного раствора или расплава [1]. Данный метод является универсальным и эффективным способом получения непрерывных нановолокон от субмикронных до нанометровых диаметров с использованием высокопотенциального электрического поля.

Термин «электроформование» (electrospinning) произошел от «электростатического формования», эта технология восходит к 1897 году [2]. Технология электроформования не была коммерциализирована из-за конкуренции с более эффективным и производительным механическим процессом вытяжки для производства полимерных волокон, и она оставалась малоизученным способом изготовления волокон до середины 1990-х годов.

Метод электроформования близок к электрораспылению, поскольку оба процесса основаны на одних и тех же физических и электрических механизмах. Основное различие

заключается в том, что при электроформовании формируются непрерывные волокна, тогда как при электрораспылении образуются небольшие капли [3]. Полученные при электроформовании волокна в основном оседают на коллекторе в виде нетканого нановолоконного материала.

Когда в 1934 году в США А. Формхалс описал прядение волокон ацетата целлюлозы в своем первом патенте, процесс электроформования приобрел значимость. В данной работе описывался процесс электроформования полимерного раствора с помощью электрического поля. Полимерные нити формировались из раствора между двумя электродами противоположной полярности. Один из электродов был помещен в раствор, а другой на коллектор. Заряженные струи полимерного раствора испарялись после вывода из прядильной головки и оседали на коллекторе в виде волокон. Формхалс усовершенствовал свой ранний метод электроформования в своем втором патенте, изменив расстояние между подающей форсункой прядильной головки и устройством для сбора волокон для того, чтобы обеспечить большее время высыхания для электроформованных волокон [1].

В 1960-х годах процесс формирования полимерной струи при процессе электроформования был изучен Тейлором. Он изучил форму конуса капли полимера на кончике иглы под воздействием электрического поля [4]. В более поздней литературе данная специфическая форма полимерной капли в процессе электроформования была названа «конусом Тейлора». В последующие годы исследования были сфокусированы на описании характеристик электроформованных нановолокон и понимании взаимосвязи между их морфологией и параметрами процесса. В 1971 году в США П. Баумгартен описал электроформование акриловых волокон с диаметром от 500 до 1100 нм [5]. Ренекер с коллегами продемонстрировал потенциал технологии для использования в нанотехнологиях, поскольку полученные волокна имели субмикронный диаметр. Кроме того, в процессе электроформования можно применять широкий диапазон полимерных материалов, что делает данный метод экономически эффективным для использования в научных целях исследовательскими лабораториями [6]. Доши и Ренекер сделали попытку охарактеризовать процесс электроформования и определить его параметры. Они изучили структуру нановолокон полиэтиленоксида, полученных путем изменения концентрации раствора и приложенного электрического потенциала и получили волокна с различными формами поперечного сечения и разнообразные по длине. Учеными были предложены возможные виды применения электроформованных нановолокон, в том числе армированные волокна в композитных материалах, водоотталкивающие внешние слои на текстильных изделиях, нетканые материалы, материалы для перевязки ран и т.д. Данная работа привела к возникновению импульса в исследованиях, посвященных электроформованию [7].

Исследования, связанные с процессом электроформования и получаемыми таким способом нановолокнами, начали проводиться особенно широко с 2000 года, и их численность растет с огромной скоростью. В основном это связано с тем, что нанотехнология приобретает все больший интерес, а ультратонкие волокна в наномасштабе могут быть легко изготовлены с помощью процесса электроформования.

Рост научной активности, иллюстрируемый количеством публикаций, является хорошим показателем интереса к этой области. Число публикаций, посвященных вопросам электроформования нановолокон, публикуемый на платформе Science Direct, с 2005 по 2010 год выросло более чем в 3 раза, и далее наблюдался рост практически в 2–3 раза каждые пять лет (рисунок 1). В 2022 году число публикаций, посвященных получению нановолокон методом электроформования, составило 6105 статей, что в 28 раз больше показателя 2005 года.

Анализ публикаций, посвященных получению полимерных нановолокон методом электроформования, показал, что интерес к данному способу производства связан с тем, что данный способ позволяет вырабатывать широкий спектр материалов из синтетических и натуральных полимеров, металлов, керамики и композитов [8]. Эта технология также может быть использована для создания специфических функциональных наноструктур, таких как нанотрубки и нанопроволоки, путем выравнивания электроформованных нановолокон.

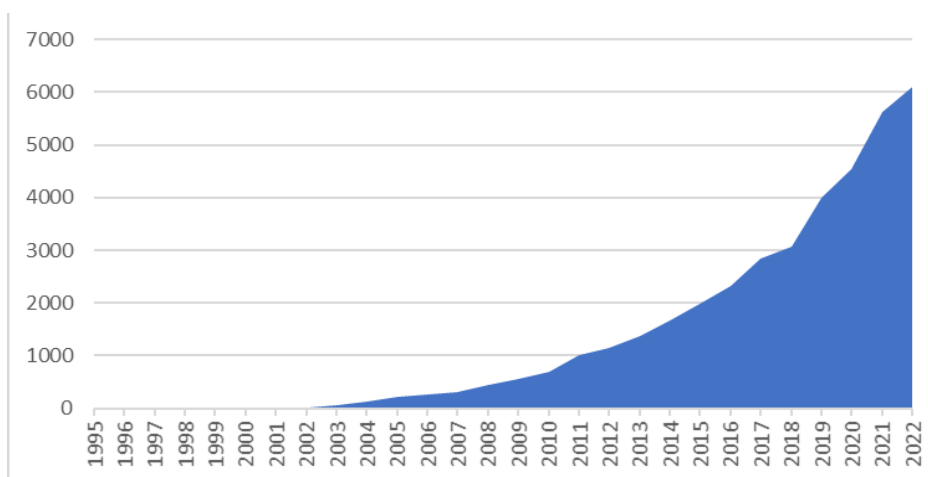


Рисунок 1 – Число публикаций, посвященных получению волокон методом электроформования

Электроформование из растворов и расплавов полимеров представляет особый интерес, поскольку получаемые таким способом волокна имеют много потенциальных видов применения [9]. Среди наиболее актуальных из них выделяют доставку лекарств к органам, биотехнологию, заживление ран, тканевую инженерию, создание перевязочных нетканых материалов, протезов и каркасов медицинского назначения, производство косметики, фильтрацию, производство преобразователей и хранителей энергии, катализаторов и ферментных носителей, создание защитной одежды, датчиков, электронных и полупроводниковых материалов и другие [10, 11].

Электроформованные нановолокна имеют ряд преимуществ перед обычными волокнами, среди которых можно выделить высокое отношение площади поверхности к объему, небольшой размер пор и высокую пористость. Также преимуществом является возможность изменения композиции нановолокна для получения необходимого свойства или функции вырабатываемого из них нетканого материала или покрытия, что обеспечивает большую гибкость в функциональных возможностях получаемой поверхности.

Новейшие разработки в области электроформования сделали возможным производство нановолокон диаметром от нескольких нанометров до сотен нанометров [1, 12]. Данная технология может применяться как в лаборатории, так и быть расширена до рамок промышленного процесса [13]. Таким образом, можно заключить, что получение нановолокнистых материалов, покрытий и структур методом электроформования является актуальным методом, отвечающим растущим потребностям промышленности стран в инновационных материалах и изделиях.

Список использованных источников

1. A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites / Z.M. Huang [et al.] // *Composites Science and Technology*. – 2003. – Vol. 63. – P. 2223–2253.
2. Bhardwaj, N. Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique / N. Bhardwaj, S.C. Kundu // *Biotechnology Advances*. – 2010. – Vol. 28. – P. 325–347.
3. Kanani, A.G. Effect of changing solvents on poly(ϵ -caprolactone) nano-fibrous webs morphology / A.G. Kanani, S.H. Bahrami // *Journal of Nanomaterials*. – 2011. – Vol. 2011. – P. 1–10.
4. Taylor, G. Electrically driven jets / G. Taylor // *Proceedings of the Royal Society of London*. – 1969. – Vol. 313. – P. 453–475.
5. Baumgarten, P.K. Electrostatic spinning of acrylic fibers / P.K. Baumgarten // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 1971. – Vol. 36. – P. 71–79.
6. Cipitria, A. Design, fabrication and characterization of PCL electrospun scaffolds – a review / A. Cipitria [et. al.] // *Journal of Materials Chemistry*. – 2011. – Vol. 21. – P. 9419–9453.
7. Doshi, J. Electrospinning process and applications of electrospun fibers / J. Doshi, D.H. Reneker // *Journal of Electrostatics*. – 1995. – Vol. 35. – P. 151–160.
8. Haider, A. A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters

- and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology / A. Haider, S. Haider, I.K. Kang // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2018. – Vol. 11. – P. 1165–1188.
9. Liu, Y. Controlling numbers and sizes of beads in electrospun nanofibers / Y. Liu [et. al.] // *Polymer International*. – 2008. – Vol. 57. – P. 632–636.
 10. Hermenegildo, B. Electroactive poly(vinylidene fluoride) electrospun fiber mats coated with polyaniline and polypyrrole for tissue regeneration applications / B. Hermenegildo [et. al.] // *Reactive and Functional Polymers*. – 2022. – Vol. 170. – Art. 105118.
 11. Jin, S. A baicalin-loaded coaxial nanofiber scaffold regulated inflammation and osteoclast differentiation for vascularized bone regeneration / S. Jin [et. al.] // *Bioactive Materials*. – 2022. – Vol. 8. – P. 559–572.
 12. Venugopal, J. Applications of polymer nanofibers in biomedicine and biotechnology / J. Venugopal, S. Ramakrishna // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2005. – Vol. 125. – P. 147–157.
 13. Bioactive electrospun scaffolds delivering growth factors and genes for tissue engineering applications / Ji., W. [et. al.] // *Pharmaceutical Research*. – 2011. – Vol. 28. – P. 1259–1272.

УДК 677.025

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ ВИДОВ СЫРЬЯ ДЛЯ ГИБРИДНОГО ТРИКОТАЖА С «ЭФФЕКТОМ СУХОСТИ»

*Чернявская А.О., маг., Быковский Д.И., асс.,
Чарковский А.В., к.т.н., доц.*

*Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. Актуальным является производство трикотажа с «эффектом сухости». В качестве сырья для производства такого трикотажа можно успешно использовать нити отечественного производства. Изготовлены образцы трикотажа плюшевого и платированного переплетений из сырья производства Республики Беларусь. Исследована гигроскопичность и капиллярность образцов трикотажа. Проведен анализ результатов. Описаны особенности выбора гидрофильных видов сырья для трикотажа с «эффектом сухости».

Ключевые слова: импортозамещение, гибридный трикотаж, «эффект сухости», плюшевое переплетение, платированное переплетение.

Импортозамещение является важнейшим государственным приоритетом, от реализации которого зависит сбалансированное развитие региона и страны в целом. В Республике Беларусь ежегодно разрабатывается и реализуется План мероприятий по импортозамещению, основными целями которого являются снижение зависимости от импорта товаров для удовлетворения внутреннего спроса высококачественной продукцией собственного производства, снижение импортоемкости выпускаемой продукции, улучшение внешнеторгового сальдо [1].

Целесообразно развивать импортозамещение в области текстильной промышленности, так как на территории Республики Беларусь имеется ряд предприятий по выпуску высококачественного сырья для производства текстильных изделий.

В настоящее время актуальным является производство трикотажа с «эффектом сухости», изделия из которого при использовании эффективно отводят влагу от тела [2, 3]. Перспективными для использования в качестве трикотажа с «эффектом сухости» являются трикотаж плюшевых и платированных переплетений.

Использование платированного переплетения позволяет создавать в трикотаже два слоя. Для создания «эффекта сухости» прилегающий к телу влагопринимаящий слой формируют из гидрофобных синтетических нитей. Этот слой, не впитывая влагу, передаёт ее во внешний влаговпитывающий слой, который формируют из гидрофильных нитей [4]. В трикотаже плюшевого переплетения присутствует третий влагоиспаряющий слой, принимающий влагу из влаговпитывающего слоя [5].

В качестве сырья для производства таких изделий можно успешно использовать нити