

УДК 677.026.49 : 687.552.2

РАЗРАБОТКА ДВУХСЛОЙНОГО НАНОВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОСМЕТОЛОГИИ

Рыклин Д.Б., д.т.н., проф., Демидова М.А., асп., Черников И.И., маг.

Витебский государственный технологический университет,

г. Витебск, Республика Беларусь

Ключевые слова: нановолокна, электроформование, таргет-доставка, двухслойный материал, косметология.

Реферат. В статье описана разработка двухслойной нановолокнистой маски из фиброина шелка, работающей по принципу таргет-доставки для нужд эстетической косметологии. Полученный образец двухслойной нановолокнистой маски за счет включенных в него специфических таргет-компонентов обладает антимикробными свойствами, а также пилингующим и увлажняющим действием и может быть рекомендован для местного применения на наиболее проблемных участках кожи. Разработка указанной маски осуществлялась на установке для электроформования Fluidnatek LE-50. Используемые таргет-компоненты применяются в инновационной биомедицине в качестве активного компонента различных терапевтических средств, широко используются при производстве нановолокнистых материалов, покрытий и конструкций в качестве основного лекарственного компонента и вспомогательного вещества. Получены и проанализированы изображения первого и второго слоев нановолокнистого материала при увеличении с использованием электронного сканирующего микроскопа LEO 1420 (Carl Zeiss, Германия).

В последние два десятилетия технология электроформования была признана эффективным и универсальным методом получения микро- и нановолокон. Структура, химическая и механическая стабильность, функциональность и другие свойства нановолокнистых материалов, покрытий и структур могут быть изменены в соответствии с конечным применением. Значительно уменьшенный диаметр волокна заметно увеличил удельную площадь поверхности, а характеристики, имитирующие нановолокна, делают электроформованные нановолокна идеальными материалами для применения в биомедицине и косметологии. Важно отметить, что различные биоразлагаемые полимеры с превосходной биосовместимостью, как природного, так и из синтетического происхождения, были успешно переработаны в электроформованные нановолокна, включая фиброин шелка, коллаген, желатин, полидиоксанон, поликапролактон, полигликолид, полилактид и др. [1]. Кроме того, различные лекарства и биологически активные таргет-компоненты могут быть легко инкапсулированы в нановолокна с помощью метода электроформования, который может придавать нановолокнам заранее заданное биологическое поведение [2].

Электроформованные нановолокна широко используются при производстве различных косметологических средств по уходу за кожей, как терапевтического спектра – средства, призванные обеспечивать постоперационное лечение, хирургические импланты, пленки и структуры, так и уходового назначения – маски, патчи, пластыри и другие средства, работающие по принципу поверхностной таргет-доставки [1].

Подобные электроформованные материалы, покрытия и конструкции могут быть изготовлены на установке Fluidnatek LE-50. Электроформование на данной установке осуществляется с использованием прядильной головки, на которую подается по капилляру прядильный раствор. Высокое напряжение, прикладываемое к прядильной головке (эмиттеру), индуцирует в растворе полимера одноименные электрические заряды, которые, в результате кулоновского электростатического взаимодействия, приводят к вытягиванию раствора полимера в тонкую струю, которая впоследствии расщепляется на более тонкие струи при определенном соотношении значений вязкости, поверхностного натяжения и плотности электрических зарядов (или напряженности электростатического поля) в волокне. Полученные струи отверждаются за счет испарения растворителя, превращаются в волокна и под действием электростатических сил дрейфуют к подложке, закрепленной на осадительном электроде.

Перспективным природным полимером для получения новых материалов на основе применения нанотехнологий является фиброин шелка. Анализ литературных источников показал, что данный полимер представляет интерес для изготовления нановолокнистых материалов, покрытий и конструкций медицинского назначения, благодаря своим уникальным свойствам, таким как биоразлагаемость, проницаемость для воды и кислорода, свободное проникновение кислорода через нанопоры и поддержание необходимого уровня влажности в раневой поверхности [3]. Шелковые волокна можно преобразовывать в водных растворах в гели, губки, порошки и мембраны, а также легко модифицировать с помощью добавления различных лекарственных компонентов. Материал, получаемый из фиброина шелка, может быть улучшен за счет смеси с другими веществами биомедицинского спектра, и обеспечивать адгезию клеток, биостабильность, иммуномодуляцию, антимикробную активность и суперпарамагнетизм [4]. Одной из стратегий, которая все чаще используется для получения нановолокнистых конструкций из фиброина шелка для нужд тканевой инженерии, является включение в них неорганических оксидов или солей, добавляемых в виде наночастиц, взаимопроникающих сетей, покрытий и т. д. Биосовместимость, экологическая и механическая стабильность делают материалы, покрытия и конструкции, получаемые из фиброина шелка пригодными для применения в тканевой инженерии. Этот белок несет аминокислотные последовательности, которые помогают клеткам, в том числе нейронам, лучше взаимодействовать с матриксом, обеспечивая сигналы для роста, миграции и дифференцировки. [5]. Все эти свойства делают фиброин шелка широко используемым для получения средств для регенеративной и эстетической косметологии.

Важно также отметить, что добавление фиброина в состав косметологического средства не только придает ему ряд потребительских свойств, но также повышает его привлекательность для потребителей, то есть выполняет определенную маркетинговую функцию, что является значительным фактором с учетом многообразия средств для ухода за кожей на рынке косметологической продукции.

Для электроформования нановолокон фиброин шелка растворяется, образуя прядильный раствор. В качестве основных растворителей при этом выступают хлорид кальция, этиловый спирт и дистиллированная вода, образующие специфическую композицию, способную растворять волокна фиброина шелка.

Хлорид кальция известен в косметологии как одно из активных средств химического пилинга, применяемого для кожи лица, который является самой востребованной процедурой у косметологов. Пилинг на основе хлорида кальция подходит для очищения кожи любого типа, даже сухой и чувствительной, а также комбинированной. Он очищает поры, придает коже сияющий и здоровый вид, подсушивает воспаления и показал свою эффективность при лечении постакне.

В связи с этим было принято решение о разработке нановолокнистой маске из фиброина шелка для эстетической косметологии.

На первом этапе исследований была осуществлена попытка получения нановолокнистого материала из полученного прядильного раствора фиброина. Однако процесс характеризовался высокой нестабильностью, что в значительной степени может объясняться его пониженной вязкостью. Кроме того, получаемый материал обладал повышенной адгезией к подложке, что является критичным при производстве косметологического средства, предполагающего снятие перед использованием.

В связи с этим нами было предложено создание двухслойной структуры. Создание многослойных нановолокнистых материалов открывает ряд возможностей, существенно расширяя ассортимент продукции. Получение многослойных структур целесообразно в следующих основных случаях:

- при высокой адгезии нановолокнистого материала к подложке;
- при создании нановолокнистых материалов с механизмом таргет-доставки;
- при необходимости инкапсуляции высоколетучих активных веществ внутри нановолокнистых структур. [6].

Одним из наиболее распространенных полимеров, используемых для получения материалов медицинского и косметологического назначения методом электроформования, является поливиниловый спирт (ПВС), что обусловлено его относительно низкой стоимостью и уникаль-

ными свойствами. Создание концентрированных растворов полимеров с лекарственными веществами различной природы приводит к получению эффективных лечебных средств для внутреннего и наружного применения. При этом в ряде случаев физиологическая активность полимеров проявляется в активизации процессов всасывания и проникновения лекарственных средств через слизистые оболочки, кожу и др. Благодаря нетоксичности поливинилового спирта может применяться в медицине в качестве клеев, пластырей, стерильных салфеток, хирургических нитей, фармацевтических препаратов, для изготовления плазмозаменяющих растворов [7].

В чистом виде ПВС нейтрален к организму пациента, в связи с чем нами было принято решение расширить комплекс свойств получаемой нановолокнистой маски путем добавления активной добавки в нижний слой.

Известно, что глицерин – один из важных компонентов в косметологии и медицине. Его можно назвать одним из самых дешевых увлажняющих средств. Он входит в состав многих кремов, мазей, мыла. Глицерин выполняет еще защитную функцию кожи, так как сохраняет влагу в клетках кожи. В медицине его используют в качестве антисептика при комплексном лечении многих заболеваний, особенно кожных (способствует заживлению ран, препятствует заражению и гноению). Водопоглощающий эффект провоцирует дегидратацию и гибель болезнетворных бактерий. Глицерин в медицине является эффективным растворителем таких химических веществ, как йод, фенол, тимол, бром [8].

Учеными широко изучено применение глицерина в электроформовании для получения биоразлагаемых нановолоконных конструкций для инженерии нервной ткани, получение синтезированных электроформованных нановолокон из поливинилового спирта с добавлением глицерина в качестве пластификатора и меда, нановолоконных электроформованных пленок из глютена, содержащих монолаурат глицерина, отличающихся повышенной водостойкостью и превосходной антимикробной активностью [9]. Таким образом, очевидно, что глицерин применяется в инновационной биомедицине, где может выступать не только активным компонентом различных терапевтических средств, но и широко используется при производстве нановолокнистых материалов, покрытий и конструкций как в качестве основного лекарственного компонента, так и в качестве вспомогательного вещества.

Ранее было установлено, что волокнистое покрытие, сформованное из раствора ПВС без добавления глицерина, практически не содержит явно видимых дефектов. При этом если требуется получить материал с нановолокнистой структурой и четкими границами нановолокон, то рекомендуется, чтобы содержание глицерина в растворе не превышало 8 %. Однако, если стоит цель наработать материал, состоящий из плотной сетки или пленки, содержащих наноразмерные поры, то рекомендуется производить электроформование из раствора, содержащего от 8 до 10 % глицерина – превышение данных пороговых значений существенно влияет на структуру и морфологию получаемых нановолокнистых материалов, а также на сам процесс электроформования. Таким образом, для получения нанопористой сетки с механизмом таргет-доставки лекарства может быть рекомендовано добавление в формовочный раствор 8–10%-ого таргет-компонента [10]. Также было отмечено, что во всех образцах, полученных с добавлением глицерина, данный компонент фактически не формирует отдельных волокон, а обволакивает волокна, сформированные из ПВС.

На установке был получен двухслойный нановолокнистый материал, первый слой которого был наработан из 14%-ого раствора ПВС с добавлением 10 % глицерина, поскольку это наибольшая концентрация, позволяющая проводить стабильный процесс электроформования; второй слой из 16%-ого раствора ПВС, смешанного с 3,5%-ым раствором фиброина шелка в соотношении 4:6.

Изображения первого и второго слоев нановолокнистого материала при увеличении в 1500 раз были получены с использованием электронного сканирующего микроскопа LEO 1420 (Carl Zeiss, Германия) и представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

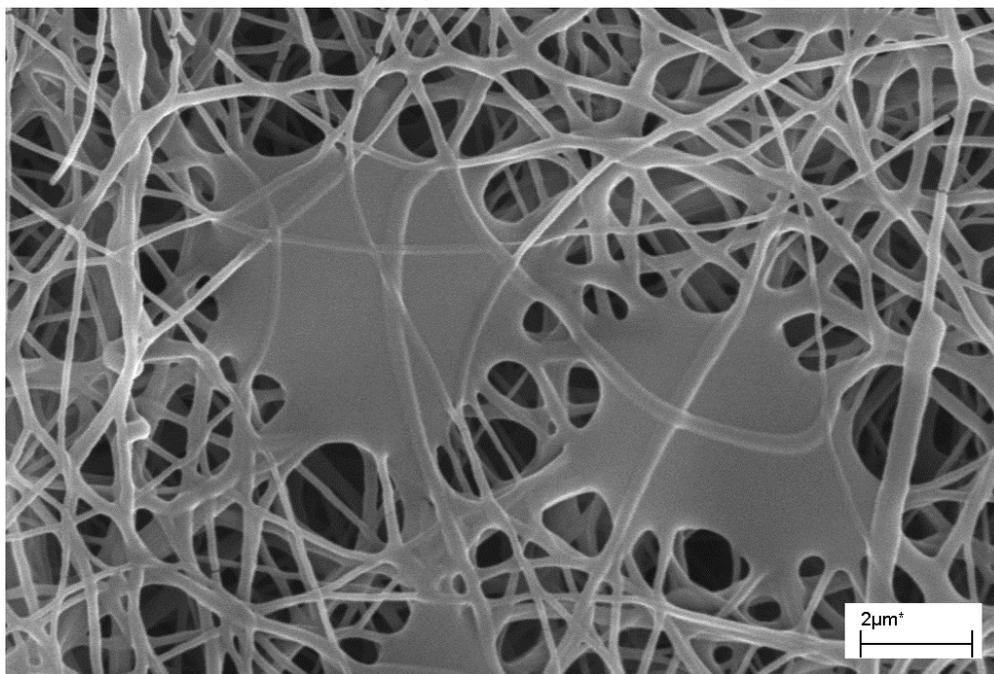


Рисунок 1 – Изображения нановолокнистого покрытия, полученного при электроформовании раствора ПВС с добавлением глицерина

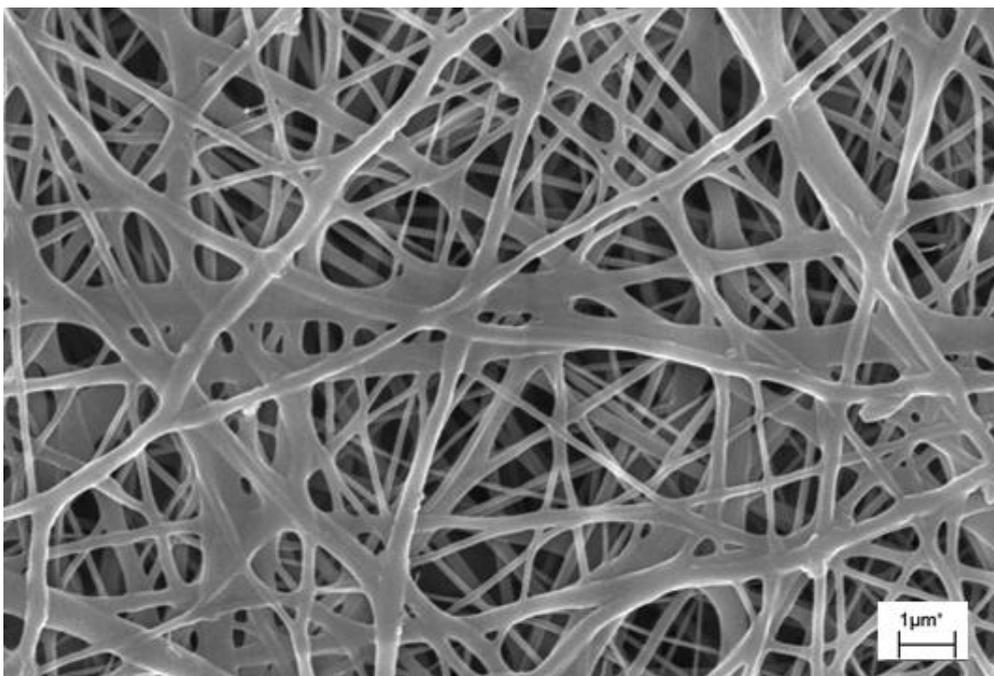


Рисунок 2 – Изображения нановолокнистого покрытия, полученного при электроформовании из раствора ПВС с добавлением раствора фибрина шёлка

С учетом свойств компонентов разработанного материала образец двухслойной нановолокнистой маски косметологического назначения обладает пилингующим, увлажняющим действием, антимикробными свойствами. Так как материал представляет собой непрочную пленку, фрагменты его удобно использовать для местного применения на наиболее проблемных участках кожи. Все делает его уникальным инновационным средством, которое может быть рекомендовано для использования в эстетической косметологии.

Список использованных источников:

1. Schiffman, J. D., Schauer, C. L. A review: Electrospinning of biopolymer nanofibers and their applications // Polym. Rev. – 2008. – V. 48 (2). – P. 317–352.

2. Luraghi, A., Peri, F., Moroni, L. Electrospinning for drug delivery applications: A review // *J. Control. Release.* – 2021. – V. 334. – P. 463–484.
3. Kundu, B. Silk fibroin biomaterials for tissue regenerations / B. Kundu, R. Rajkhowa, S. C. Kun-du, X. Wang // *Adv. Drug Deliv. Rev.* – 2013. – Vol. 65. – P. 457–470.
4. Wen, D. L. Recent progress in silk fibroin-based flexible electronics / D. L. Wen, D. H. Sun, P. Huang, W. Huang, M. Su, Y. Wang, M.D. Han, B. Kim, J. Brugger, H. X. Zhang, X. S. Zhang // *Microsyst. Nanoeng.* – 2021. – Vol. 7. – P. 35–60.
5. Liu, L. Progress in modification of silk fibroin fiber / L. Liu, S. Zhang, J. Huang // *Sci. China Technol. Sci.* – 2019. – Vol. 62. – P. 919–930.
6. Рыклин, Д. Б. Получение многослойных нановолокнистых материалов методом электроформования / Д. Б. Рыклин, Н. Н. Ясинская, М. А. Демидова, В. М. Азарченко // *Международный научно-технический симпозиум «Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности» в рамках 3-го Международного Косыгинского форума / РГУ им. Косыгина.* – Москва, 2021. – С. 168 – 172.
7. Попова, И. Н. Экономика производства и применения полимеризационных пластмасс / И. Н. Попова, Е. Д. Файнберг, Ю. Т. Лившиц. – Ленинград: Химия, 1977. – 200 с.
8. Глицерин в медицине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mplast.by/encyklopedia/fiziologicheski-aktivnyie-polimeryi/>. – Дата доступа: 10.06.2022.
9. Zhang, Y., Deng, L., Zhong, H., Pan, J., Li, Y., Zhang, H. Superior water stability and antimicrobial activity of electrospun gluten nanofibrous films incorporated with glycerol monolaurate // *Food Hydrocolloids.* – 2020. – V. 109. – Art. 106116.
10. Рыклин, Д. Б. Оценка влияния добавки глицерина в прядильный раствор на структуру электроформованных материалов / Д. Б. Рыклин, Н. Н. Ясинская, М. А. Демидова, В. М. Азарченко // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX).* – 2020. – № 1. – с. 88–93.

УДК 677.02 : 621.315.4

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТКАНЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ КОМПОНЕНТОВ

*Рыклин Д.Б., д.т.н., проф., Дубровская О.А., асп., Кветковский Д.И., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Ключевые слова: электромагнитное излучение, экранирующая ткань, Bekinox, Nega-Stat, антистатическая нить, коэффициент отражения, коэффициент передачи.

Реферат. Целью данной работы является исследование коэффициентов отражения и передачи в тканях, содержащих в своем составе углероднополиэфирные нити Nega-Stat, а также их сочетание с пряжей, содержащей стальные волокна Bekinox, для оценки возможности их использования при создании экранов, защищающих от воздействия ЭМИ. В качестве объекта исследований использовались образцы опытных тканей разного состава и двухслойные пакеты, сформированные из опытной ткани, с целью оценки возможности управления экранирующим эффектом и определения перспективных возможностей создания многослойных текстильных экранов. В результате испытаний получены зависимости коэффициентов отражения и передачи тканей и пакетов от частоты ЭМИ.

Экранирование является достаточно распространенным методом защиты людей, электронного и электрического оборудования от излучаемой электромагнитной энергии. Одним из перспективных вариантов замены металлических экранов являются антистатические ткани, в структуру которых введены электропроводящие компоненты. Основными преимуществами использования тканей являются меньший расход металлов, гибкость текстильных полотен, воз-