

УДК 677.494

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ
НА УСТАНОВКЕ FLUIDNATEK LE-50
OPTIMIZATION OF ELECTRICAL FORMATION PROCESS
ON FLUIDNATEK LE-50 INSTALLATION**

**Дмитрий Борисович Рыклин, Владислав Михайлович Азарченко,
Мария Александровна Демидова
Dmitry B. Ryklin, Vladislav M. Azarchenko, Maria A. Demidova**

*Витебский государственный технологический университет, Беларусь, Витебск
Vitebsk State Technological University, Belarus, Vitebsk
(e-mail: ryklin-db@mail.ru; azarchenko22@mail.ru)*

Аннотация: Статья посвящена определению рациональных режимов получения нановолокнистых материалов на установке Fluidnatek LE-50 с использованием прядильных головок различных конструкций. Проведены экспериментальные исследования процесса электроформования материалов из раствора поливинилового спирта, а также определено влияние напряжения на коллекторе на протекание процесса электроформования. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены регрессионные модели, описывающие зависимость расхода волокнообразующего раствора от напряжения на эмиттере и расстояния между электродами установки для каждой из прядильных головок. Определены режимы работы установки, обеспечивающие стабильное протекание процесса при максимальном расходе раствора.

Abstract: The paper is devoted to the determining of rational modes of nanofiber materials manufacturing on the machine Fluidnatek LE-50 using spinning heads of various designs. Experimental studies of the materials electrospinning from the solution of polyvinyl alcohol have been carried out. The influence of the voltage at the collector on the electrospinning process was determined. As a result of experimental data statistical processing, regression models describing the influence of voltage at the emitter and the distance between the electrodes on the solution consumption were obtained for each spinning heads. The operating modes of the installation have been determined, which ensure the stable process with the maximum flow rate of the solution.

Ключевые слова: электроформование, нановолокна, раствор полимера, вязкость, рациональный режим, прядильная головка, коаксиальная прядильная головка.

Keywords: electrospinning, nanofibers, polymer solution, viscosity, rational mode, spinning head, coaxial spinning head.

Электроформование является перспективным методом получения непрерывных нановолокнистых материалов с применением высокопотенциального электрического поля [1, 2]. Данная технология позволяет получать материалы разнообразного назначения и может быть использована как в лабораторных, так и в промышленных условиях [3, 4, 5].

Исследования в данной работе проводились на установке для формирования нановолокнистых материалов Fluidnatek LE-50. При работе на данной установке волокнообразующий раствор поступает по капилляру к электроформовочной головке (эмиттеру), на которую подаётся положительное напряжение. Нановолокна наносятся на подложку, закреплённую на барабане (осадительный электрод или коллектор), на который подаётся отрицательное напряжение. Подбор компонентов раствора, регулирование параметров процесса и окружающей среды позволяют получать материалы из различных по составу и диаметру нановолокон [4].

Целью данной работы являлось определение рациональных режимов получения нановолокнистых материалов с использованием прядильных головок различных конструкций

из водного раствора, содержащего 15% поливинилового спирта марки Selvol 205 компании Sekisui Specialty Chemicals Europe S.L. (США). Динамическая вязкость раствора составляет 329,09 мПа·с, что входит в пределы рекомендуемого диапазона данного показателя для волокнообразующих растворов при электроформовании (от 100 до 3000 мПа·с). Было принято решение стабильным считать такое протекание процесса, при котором размер капли на кончике иглы формовочной головки не изменяется с течением времени, а процесс формирования и вытягивания струи из раствора происходит непрерывно.

На установке Fluidnatek LE-50 могут быть использованы два типа прядильных головок: обычная и коаксиальная. Внешний вид головок представлен на рисунке 1. В литературе отмечается, что коаксиальная головка, содержащая внутреннюю и наружную иглы, позволяет вырабатывать двухслойные нановолоконные конструкции. Этот метод доказал свою универсальность для инкапсуляции биорелевантных молекул и нанокомпозитов [6].



а)



б)

а) обычная; б) коаксиальная.

Рисунок 1 – Внешний вид прядильных головок

В качестве критерия эффективности процесса электроформования при проведении эксперимента был принят максимальный расход раствора. Интервалы варьирования факторов эксперимента представлены в таблице 1.

Для планирования эксперимента по установлению рациональных режимов получения нановолокнистых материалов необходимо удостовериться в том, могут ли исследуемые режимы работы установки регулироваться независимо друг от друга в заданном диапазоне варьирования без нарушения стабильности процесса электроформования. В связи с этим, на первом этапе исследований был проведен предварительный эксперимент с целью определения влияния напряжения на коллекторе на протекание процесса электроформования. Установлено, что стабильный процесс электроформования имеет место при одновременном увеличении абсолютных значений напряжения, подаваемого на оба электрода. В противном случае наблюдается нестабильность формы конуса Тейлора и образования на его вершине полимерной струи.

Однако влияние напряжения, подаваемого на коллектор, на характеристики процесса электроформования зависит от напряжения, подаваемого на эмиттер. При проведении исследований напряжение на коллекторе менялось от -5 до -9 кВ с шагом 1 кВ при трех значениях расстояния между электродами (8, 10 и 12 см) и двух значениях напряжения на эмиттере - 20 кВ и 23 кВ. В данном интервале при напряжении 20 кВ на эмиттере расход волокнообразующего раствора не менялся и составил 120 мкл/ч. При напряжении в 23 кВ расход монотонно повышается с ростом абсолютного значения напряжения на коллекторе и достигает 200 мкл/ч.

На основании анализа результатов предварительных исследований осуществлено планирование эксперимента, целью которого являлось определение оптимальных параметров работы прядильных головок двух конструкций. Независимыми варьируемыми факторами являлись напряжение на эмиттере P_+ и расстояние между электродами D . Абсолютное

значение напряжения P_- на коллекторе увеличивалось одновременно с увеличением значения P_+ . Диапазоны и интервалы варьирования факторов эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Диапазоны и интервалы варьирования факторов эксперимента.

Фактор	Диапазон варьирования		Интервал варьирования
	Минимальный уровень	Максимальный уровень	
Напряжение на эмиттере P_+ , кВ	13	28	1
Напряжение на коллекторе P_- , кВ	-5	-9	1
Расстояние между формующими электродами D , см	8	12	2

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены регрессионные модели (1) – (3), описывающие зависимость расхода волокнообразующего раствора от напряжения на эмиттере и расстояния между формующими электродами. При построении моделей использовались только такие соотношения параметров эксперимента, при которых процесс электроформования протекал стабильно.

Для обычной головки модель имеет следующий вид:

$$Q = D - 8,212 \cdot P_+ - 3,761 \cdot D \cdot P_+ + 3,214 \cdot D^2 + 1,963 \cdot P_+^2. \quad (1)$$

Для коаксиальной головки:

- внешняя игла

$$Q = 857,025 + D - 102,01 \cdot P_+ - 4,180 \cdot D^2 + 4,713 \cdot P_+^2; \quad (2)$$

- внутренняя игла

$$Q = -684,0 + D + 54,279 \cdot P_+ - 5,682 \cdot D \cdot P_+ + 5,159 \cdot D^2 + P_+^2. \quad (3)$$

Можно заключить, что для всех трех игл наблюдается схожие зависимости расхода от параметров процесса. При росте напряжения возрастает расход раствора, при этом максимальные расход достигается при наименьшем расстоянии между формующими электродами. Однако для внешней иглы коаксиальной прядильной головки установлено, что с увеличением расстояния при максимальном напряжении нарушается стабильность процесса, что ведет к существенному снижению расхода.

В результате эксперимента были установлены рациональные значения параметров процесса, обеспечивающие стабильное производство нановолокнистых покрытий и материалов для обычной и коаксиальной прядильных головок, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Рациональные режимы производства нетканых нановолокнистых покрытий.

Вид прядильной головки	Расстояние, см	Напряжение, кВ	Расход, мкл/ч
Обычная прядильная головка	8	25	600
Коаксиальная прядильная головка			
- внешняя игла	8	25	600
- внутренняя игла	8	26	600

Выводы

В данной работе получены зависимости расхода волокнообразующего раствора поливинилового спирта от параметров работы установки Fluidnatek LE-50 с использованием обычной и коаксиальной прядильных головок. Установлено, что наибольшее влияние на расход и стабильность процесса оказывает влияние расстояние между электродами. Максимальная производительность установки достигается при минимальном расстоянии между электродами, составляющем 8 см и напряжении на эмиттере 25 – 26 кВ.

Отрицательные значения напряжения на коллекторе практически не влияют на расход волокнообразующего раствора, однако влияют на стабильность процесса электроформования: чем выше значения напряжения на прядильной головке, тем выше необходимо устанавливать напряжение на барабане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huang, Z.M.; Zhang, Y.Z.; Kotaki, M. & Ramakrishna, S.: A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, *Composites Science and Technology*, 63 (2003), pp. 2223-2253
2. Venugopal, J. & Ramakrishna, S.: Applications of polymer nanofibers in biomedicine and biotechnology, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 125 (2005), pp. 147-157
3. Ji, W.; Sun, Y.; Yang, F.; Van den Beucken, J.J.J.P.; Fan, M.; Chen, Z. & Jansen, J.A.: Bioactive electrospun scaffolds delivering growth factors and genes for tissue engineering applications, *Pharmaceutical Research*, 28 (2011), pp. 1259-1272
4. Liu, Y.; He, J.H.; Yu, J.Y. & Zeng, H.M.: Controlling numbers and sizes of beads in electrospun nanofibers, *Polymer International*, 57 (2008), pp. 632-636
5. Li, D.; Wang, Y. & Xia, Y.: Electrospinning nanofibers as uniaxially aligned arrays and layer-by-layer stacked films, *Advanced Materials*, 16 (2004), 4, pp. 361-366
6. Sun, Z.C.; Zussman, E.; Yarin, A.L.; Wendorff, J.H. & Greiner, A.: Compound coreshell polymer nanofibers by co-electrospinning, *Advanced Materials*, 15 (2003), pp. 1929-1932

УДК 677.054.845-231.321.2

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗГРУЖАТЕЛЕЙ В БАТАННОМ МЕХАНИЗМЕ ТКАЦКОГО СТАНКА СТБ DEVELOPMENT AND RESEARCH OF USING UNLOADER IN BATAN MECHANISM OF LOOM STB

**Николай Владимирович Степнов, Светлана Васильевна Кузякова,
Владимир Фатекович Абрамов
Nikolay Vladimirovich Stepnov, Svetlana Vasilyevna Kuzyakova,
Vladimir Fatekovich Abramov**

*Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Moscow
(e-mail: pr-mechanica@mail.ru)*

Аннотация: Проведено исследование возможности применения кулачковых пружинных разгрузателей на подбатанном валу ткацкого станка, определено влияние кулачковых пружинных разгрузателей на динамические характеристики батанного механизма.

Abstract: A study of the use of cam spring unloader on shaft loom, the influence of cam spring unloader on the dynamic characteristics of batan mechanism.

Ключевые слова: ткацкий станок, кулачковый пружинный разгрузатель, батанный механизм.

Keywords: a loom, cam spring unloader, batan mechanism.

Известно, что батан ткацких станков СТБ, обладая значительным моментом инерции, совершает качательное движение, при котором возникают большие силы инерции. В результате чего в кинематических парах батанного механизма действуют повышенные нагрузки, а главный вал ткацкого станка вращается с высокой неравномерностью, достигающей до 20% и более. Повышенная неравномерность вращения главного вала не только искажает