

УДК 677.021.125.26-913.3

**ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ
НА СТРУКТУРУ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ
ЭЛЕКТРОСПИННИНГА**

Е.Ю. Мельник¹, А.И. Казимиров²

Научный руководитель: к.т.н., Е.Н. Больбасов¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Институт оптики атмосферы имени В.Е. Зуева СО РАН,

Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1, 634055

E-mail: eym13@tpu.ru

**EFFECT OF VISCOSITY AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF SPINNING SOLUTIONS
ON THE STRUCTURE OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE MEMBRANES FABRICATED
VIA ELECTROSPINNING**

E.Y. Melnik¹, A.I. Kazimirov²

Scientific Supervisor: PhD., E.N. Bolbasov¹

¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

²V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Russia, Tomsk, Academician Zuev str., 1, 634055

E-mail: eym13@tpu.ru

Abstract. *This work presents the results of a study of the influence of viscosity and electrical conductivity of spinning solutions on the morphology of porous polymeric membranes made of polytetrafluoroethylene fabricated via electrospinning. Scanning electron microscopy has demonstrated that the viscosity and electrical conductivity of spinning solutions are the main technological parameters that make it possible to effectively control the average diameter of fibers in polytetrafluoroethylene membranes. It is shown that such parameters as the absorption of the liquid wetting the membrane, the apparent density and open porosity of the formed membranes do not depend on the viscosity and electrical conductivity of the spinning solutions and the average diameter of the fibers in the membranes.*

Введение. В настоящее время полимерные мембран из политетрафторэтилена (ПТФЭ) изготовленные методом электроспиннинга, обладая высокой механической и химической стабильностью чрезвычайно востребованы в химической и нефтехимической промышленности, в процессах мембранной дистилляции и разделения эмульсий. В сфере водородной энергетике этот тип мембран находит применение в качестве протонно-обменной мембран в топливных ячейках, в системах хранения сжиженного водорода и сепараторов литий-ионных батарей. Особую востребованность на сегодняшний день мембраны на основе ПТФЭ находят в реконструктивно-восстановительной хирургии в качестве желчных протоков и кровеносных сосудов [1]. Вязкость и электропроводность прядильного раствора, при изготовлении мембран методом электроспиннинга, являются основополагающими параметрами, во многом определяющими размер и структуру формируемых волокон, конфигурацию порового

пространства мембран и как следствие комплекс физико – химических свойств полимерной мембраны. В настоящей работе представлены результаты исследования влияния вязкости и электропроводности прядильного раствора, предназначенного для получения пористых ПТФЭ мембран методом электроспиннинга, на структуру и морфологию сформированных мембран.

Экспериментальная часть. Приготовление прядильного раствора для изготовления мембран осуществляли следующим образом. Получали 5 % водный раствор полиэтиленоксида (ПЭО) растворяя $2,50 \pm 0,01$ г порошка ПЭО (Acros Organics, Belgium) в $47,50 \pm 0,01$ г дистиллированной воды. Прядильные растворы готовили путем смешивания 5% водного раствора ПЭО с $10,0 \pm 0,01$ г водной суспензией ПТФЭ (Галополимер, Россия). Регулирование вязкости прядильного раствора осуществлялось добавлением дистиллированной воды. Для изучения влияния вязкости прядильного раствора на структуру сформированных мембран было приготовлено пять типов прядильных растворов при постоянном содержании полимерных компонентов, в которых содержание воды варьировалось от $5,455 \pm 0,001$ до $6,955 \pm 0,001$ г. Регулирование электропроводности осуществлялось путем добавления соли KCl. Для изучения влияния электропроводности прядильного раствора на структуру сформированных мембран было приготовлено 6 типов прядильных растворов при постоянном содержании полимерных компонентов и дистиллированной воды, в которых содержание KCl варьировалось от $0,002 \pm 0,001$ до $0,05 \pm 0,001$ г. Динамическую вязкость прядильных растворов исследовали на вибровискозиметре серии SV-10 (A&D Company Limited, Japan). Электропроводность прядильных растворов исследовали на кондуктометре InoLab Cond 7319 (WTW, Germany). Формирование мембран осуществлялось с помощью установки для процесса электроспиннинга NANON-01A (MECC CO, Japan). Термическую обработку мембран проводили в муфельной печи ИТМ 50.1100 (ООО «ИТМ», Russia), по методике описанной ранее [2]. Морфология мембран исследована с помощью СЭМ на оборудовании JCM-6000 (JEOL, Japan). Поглощение спирта, кажущуюся плотность и пористость каждого образца мембраны определяли гидростатическим взвешиванием на весах Sartorius ME235S (Sartorius, Германия).

Результаты. На рисунке 1 представлены результаты исследований влияния содержания воды (Рис. 1а) и KCl (Рис.1б) в прядильном растворе на его вязкость и электропроводность. Установлено, что увеличение содержания воды в прядильном растворе до $6,955 \pm 0,001$ г приводит к снижению вязкости прядильного раствора более чем в два раза по сравнению с контрольным значением. При этом при постоянной вязкости прядильного раствора равной $70,4 \pm 0,1$ МПа×сек., увеличение содержания KCl в растворе до $0,05 \pm 0,001$ г вызывает увеличение электропроводности с $31,8 \pm 0,1$ до $347,2 \pm 5,4$ мкСим/см.

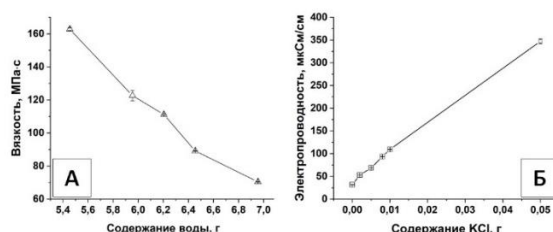


Рис. 1. Изменение вязкости (а) и электропроводности (б) прядильных растворов

На рисунке 2 показаны СЭМ-изображения структуры мембран в зависимости от вязкости прядильного раствора (Рис 2. а-е). При уменьшении вязкости прядильного раствора путем добавления дистиллированной воды средний диаметр волокон уменьшается с $1,82 \pm 0,22$ до $1,53 \pm 0,26$ мкм.

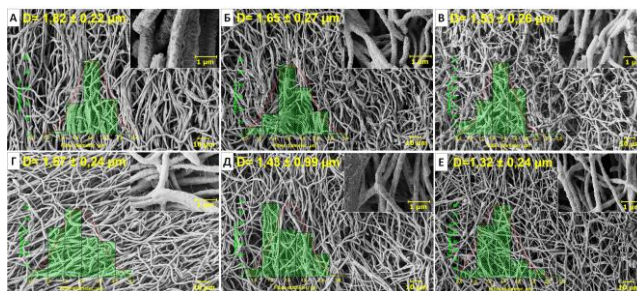


Рис. 2. Влияние вязкости и электропроводности на структуру мембран: а, б, в – влияние вязкости на структуру мембран; г, д, е – влияние электропроводности на структуру мембран

В таблице 1 представлены результаты влияния вязкости и электропроводности прядильных растворов на изменение открытой пористости, поглощения изопропилового спирта и кажущейся плотности. Представленные результаты свидетельствуют о отсутствие влияния вязкости и электропроводности прядильных растворов на исследуемые параметры.

Таблица 1

Измерение открытой пористости, поглощения спирта и кажущейся плотности в зависимости от вязкости и электропроводности прядильного раствора

В зависимости от вязкости прядильного раствора			
Образец, №	Поглощение спирта, %	Кажущаяся плотность, г/см ³	Открытая пористость, %
1	112,5 ± 1,9	0,5254 ± 0,0068	75,3 ± 0,4
2	104,7 ± 5,9	0,5569 ± 0,0231	74,2 ± 1,2
3	123,9 ± 5,6	0,4956 ± 0,0040	78,2 ± 2,9
4	115,3 ± 13,4	0,5186 ± 0,0435	75,7 ± 2,0
5	108,9 ± 2,4	0,5354 ± 0,0095	74,3 ± 0,4
В зависимости от электропроводности прядильного раствора			
1	105,1 ± 2,2	0,5529 ± 0,0086	74,1 ± 0,4
2	108,7 ± 4,7	0,5400 ± 0,0175	74,7 ± 0,8
3	111,3 ± 6,1	0,5308 ± 0,0198	75,2 ± 1,3
4	111,8 ± 5,3	0,5295 ± 0,0174	75,4 ± 1,1
5	110,3 ± 3,3	0,5443 ± 0,0171	74,9 ± 1,0

Заключение. В настоящей работе установлено, что вязкость и электропроводность прядильных растворов являются ключевым технологическими параметрами, позволяющим эффективно управлять средним диаметром волокон в мембранах из политетрафторэтилена. Такие параметры как поглощение смачивающей жидкости, кажущаяся плотность и открытая пористость мембран не зависят от вязкости и электропроводность прядильных растворов и среднего диаметра волокон в мембранах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kianfar P., Bongivanni R., Ameduri B., Vitale A. Electrospinning of fluorinated polymers: current state of the art on processes and applications // Polymer Reviews. – 2023. – Vol. 63. – №. 1. – P. 127-199.
2. Melnik E., Stankevich K., Zinovyev A., Poletykina E., Andreev A., Bouzник V., Bolbasov E. Effect of heat treatments and aggressive media on mechanical properties of porous polytetrafluoroethylene membranes fabricated via electrospinning // Journal of Fluorine Chemistry. – 2022. – Vol. 264. – P. 110062.