

Воздействие СВЧ-излучения на тонкопленочные полимерные мембраны

*Д. Д. Фазуллин^а, Г. В. Маврин^а, И. Г. Шайхиев^б

^аКазанский федеральный университет,
г. Набережные Челны, 423812, Россия, *e-mail: denr3@yandex.ru

^бКазанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, 420015, Россия

Поступила 26.12.2018

После доработки 24.01.2019

Принята к публикации 24.01.2019

Для улучшения физико-химических свойств тонкопленочных мембран из нейлона и из нейлона с поверхностным слоем из полистирола (ПС) – «нейлон-ПС» провели их обработку сверхвысокочастотным (СВЧ) излучением с частотой 2450 МГц и мощностью 300 Вт в воздушной среде. Выявлено изменение массы мембран в зависимости от времени обработки для мембран из нейлона – до 0,34% и «нейлон-ПС» – до 0,67%. Результаты сканирующей электронной микроскопии показали образование на поверхности мембран расплавленных и уплотненных участков. Установлено повышение гидрофильности и удельной производительности мембран в результате обработки СВЧ-излучением. Выявлено снижение шероховатости поверхностного слоя мембран и изменение в структуре мембраны «нейлон-ПС» по результатам растровой электронной микроскопии. Изменения в надмолекулярной структуре мембраны «нейлон-ПС» подтверждены результатами ИК-Фурье-спектроскопии: выявлено смещение основания полосы поглощения характерной для колебаний связи С-Н фенильной группы ПС. Фенильные группы в макромолекуле полимера препятствуют кристаллизации ПС, смещение основания пика свидетельствует о структурных изменениях в макромолекуле, что приводит к повышению степени кристалличности ПС. Под воздействием СВЧ-излучения в ПС изменяется положение фенильной группы, она располагается, чередуясь по разные стороны основной цепи, что способствует росту числа центров кристаллизации, упорядочению структуры. Повышение интенсивности полос поглощения ИК-спектров после обработки мембраны из нейлона связано с разрушением дефектных областей поверхностного слоя мембраны.

Ключевые слова: мембраны, нейлон, полистирол, поры, смачиваемость, СВЧ-излучение, ИК-Фурье-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия.

УДК 66.086.2

DOI: 10.5281/zenodo.3244416

ВВЕДЕНИЕ

Улучшение физико-механических свойств тонкопленочных мембран является актуальной проблемой, решение которой позволяет существенно повысить проницаемость, задерживающую способность и повысить качество и срок эксплуатации мембранных элементов. Для модификации мембран используют различные химические и физические способы обработки. Физическая модификация мембран предусматривает воздействие на поверхность электромагнитными волнами, низкотемпературной плазмой; ультразвуковую, термическую, вибрационную, радиационную обработку [1–5]. В результате модификации меняются поверхностные свойства мембран: смачиваемость, пористость, шероховатость, размер пор, проводимость.

В последние годы для модификации полимерных материалов широко применяется электромагнитное излучение сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона [6–9]. В частности, показано, что при воздействии СВЧ-излучения повышается устойчивость полимеров, уменьшается влияние термомеханических эффектов, увеличивается механическая прочность более чем в 2 раза, водопоглощение уменьшается в 3 раза [10].

Скорость травления поверхности мембраны в результате воздействия СВЧ-излучения зависит от природы и степени кристаллизации полимера, при этом скорость травления аморфных областей выше, что связано с меньшей плотностью и большей диффузией реакционных газов [11, 12]. Также определено, что скорость травления поверхностного слоя полимера зависит от среды обработки СВЧ-излучением [9].

В работе [8] волокна из нейлона модифицировались 2-акриламидо-2-метилпропан-сульфоновой кислотой, при этом полимеризация осуществлялась с использованием СВЧ-излучения. Полученные волокна нейлона исследовались инфракрасной (ИК) Фурье-спектроскопией, сканирующей электронной микроскопией (СЭМ). Модифицированные волокна показали повышение скорости динамической фильтрации белков по сравнению с нативной мембраной.

Сообщается [13] о цеолитных мембранах NaA с высокой проницаемостью, синтезированных методом микроволнового нагрева в различных условиях: (I) на макропористом субстрате в геле, (II) на мезопористом/макропористом субстрате в геле и (III) на мезопористом/макропористом субстрате в золе. Определено, что мембраны, синтезированные с обработкой СВЧ-излучением, обладали более высокой проницаемостью, чем мембраны, полученные в стандартных условиях.

С помощью СВЧ-излучения авторами работы [14] получена катионообменная фаза нейлон-С(О)ОН для ионной хроматографии. На волокна нейлона с помощью радикальной полимеризации с использованием микроволнового излучения привили полиакриловую кислоту. Поверхность полученных волокон исследовалась методом ИК-Фурье-спектроскопии и СЭМ. Авторы сделали вывод, что полимеризация под действием СВЧ-излучения имеет большой потенциал в качестве обобщенной методологии модификации поверхности полимеров.

В работе [15] авторы модифицировали мембрану из нейлона, которая использовалась для фильтрации азота, СВЧ-излучением. Мощность излучения составила 100 Вт. Изменения физических свойств поверхности авторы исследовали с помощью СЭМ. Они установили, что коэффициент пропускания атомов азота составляет 20% после обработки мембраны СВЧ-излучением в течение 1 минуты. После увеличения времени обработки СВЧ-излучением до 30 минут коэффициент пропускания атомов азота составил 50%. Авторы по результатам СЭМ исследований установили увеличение размеров пор мембран от 5 до 10 мкм в зависимости от времени обработки.

В вышеприведенных работах для установления изменений в составе и свойствах поверхностного слоя мембран после обработки СВЧ-излучением используют методы ИК-Фурье-спектроскопии, СЭМ, методы ядерного магнитного резонанса анализа и весовые методы. Определено, что обработка полимерных мембран СВЧ-излучением приводит к увеличению размера пор, повышению удельной производи-

тельности, изменению смачиваемости поверхности и повышению уровня кристаллизации полимера.

На основании вышеизложенного в настоящей работе исследовалось влияние СВЧ-излучения на изменение структуры поверхности и физико-механические свойства полимерных мембран из нейлона и нейлона с поверхностным слоем из полистирола (ПС).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе СВЧ-излучению подвергаются микрофильтрационная мембрана из нейлона 66 и динамическая мембрана на подложке из нейлона 66 с поверхностным слоем из ПС – «нейлон-ПС». Нейлон 66 – полигексаметиленадипинамид относится к группе синтетических полиамидов. Молекулярная формула нейлона имеет вид:



В кристаллических участках макромолекулы нейлонов имеют конформацию плоского зигзага с образованием с соседними молекулами водородных связей между атомами кислорода карбонила и атомами водорода соседних амидных групп. Поэтому нейлоны обладают более высокими по сравнению с полиэфирами и полиалкенами физико-механическими свойствами, повышенной степенью кристалличности (40–60%) и высокими температурами стеклования и плавления.

Мембраны из нейлона представляют собой полупроницаемую пленку с размером пор 0,45 мкм. Динамическую мембрану «нейлон-ПС» получали путем формирования на поверхности пористой основы полупроницаемого слоя из присутствующих в фильтруемом водном растворе ацетона взвешенных микрочастиц ПС с размерами от 81 до 504 нм (рис. 1), который находится в динамическом равновесии с раствором [16]. Размер частиц дисперсной фазы суспензии определили методом динамического светорассеяния с помощью анализатора марки «Nano Brook Omni».

Для стабилизации динамического слоя мембрану подвергали обработке СВЧ-излучением в дециметровом диапазоне волн с помощью лабораторной установки микроволновой системы марки МС-6 в среде атмосферного воздуха. Также обработке СВЧ-излучением подвергали исходную мембрану из нейлона-66. Были выставлены следующие параметры установки МС-6: мощность – 300 Вт, частота рабочего излучения – 2450 МГц, температура – 25°C, время обработки – от 5 до 20 мин. обрабо-

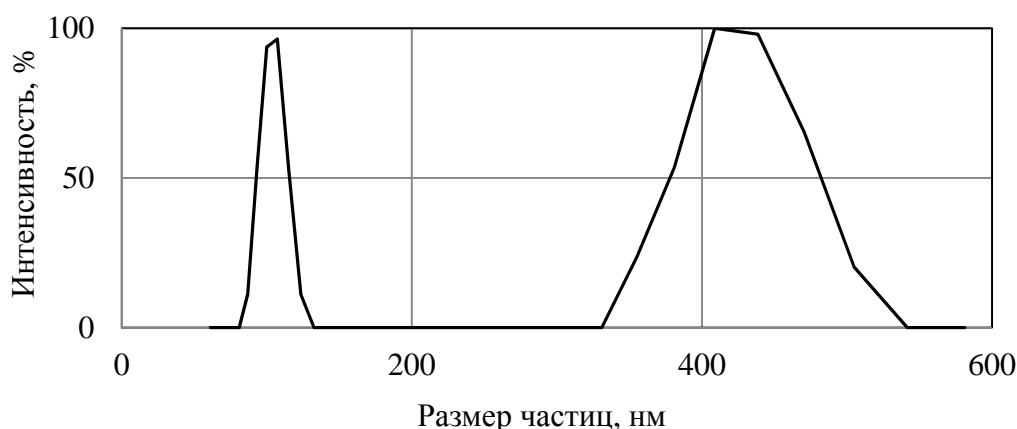


Рис. 1. Распределение размера частиц дисперсной фазы суспензии ПС в водном растворе ацетона.

Таблица 1. Потеря массы мембран после обработки СВЧ-излучением в среде воздуха

Материал мембраны	Содержание ПС, % (по массе)	Время обработки СВЧ, мин	Уменьшение массы мембраны Δ , %
нейлон	—	5	0,11
		10	0,23
		20	0,34
нейлон-ПС	4,1	5	0,38
	4,0	10	0,55
	4,0	20	0,67

танные мембраны хранили в эксикаторе. Влияние СВЧ-излучения на массу мембран определялось с помощью аналитических весов с точностью 0,00001 г по изменению массы мембран до и после обработки.

Для определения изменений в составе мембран после обработки СВЧ-излучением снимались ИК-спектры образцов с помощью ИК-Фурье-спектрометра марки «ИнфраЛЮМ ФТ-08» в интервале частот 600–4000 см⁻¹.

Изменение в структуре поверхности мембран фиксировалось с помощью сканирующего электронного микроскопа марки LEO-1430 VP производства Carl Zeiss. Образцы наклеивались на алюминиевые пластины, золото напылялось на поверхность мембран методом катодного напыления в среде аргона и просматривалось в режиме высокого вакуума.

Методом сидячей капли с использованием аппарата Kruss DSA 20E проведено измерение краевого угла смачивания исследуемых образцов мембран.

Методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с применением микроскопа марки Multi Mode V фирмы Veeco получена информация о надмолекулярной структуре исследуемых мембран, определены шероховатость поверхности и наличие поверхностных деформаций мембран в результате обработки СВЧ-излучением.

У мембран из нейлона и «нейлон-ПС», обработанных СВЧ-излучением, определялась удельная производительность в воде. Удельная производительность определялась как отношение количества образующегося фильтрата к произведению площади мембраны и времени процесса в пересчете на дм³/м²·час.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После обработки СВЧ-излучением у мембраны из нейлона и динамической мембраны «нейлон-ПС» определялось изменение массы (табл. 1).

Из данных табл. 1 следует, что в результате обработки мембран СВЧ-излучением в среде атмосферного воздуха масса мембран из нейлона уменьшается от 0,11 до 0,34%, а масса мембран «нейлон-ПС» уменьшается от 0,38 до 0,67% от исходной массы в зависимости от времени обработки. Данное обстоятельство объясняется травлением поверхностного слоя мембраны и разрушением дефектных областей поверхностного слоя в результате окисления полимера кислородом воздуха. Под действием СВЧ-излучения поверхностный слой из ПС теряет массу интенсивнее, чем исходная мембрана из нейлона.

Подтверждением воздействия СВЧ-излучения на поверхностные свойства мембран являются результаты измерения краевого угла смачивания исследуемых образцов мембран (рис. 2).

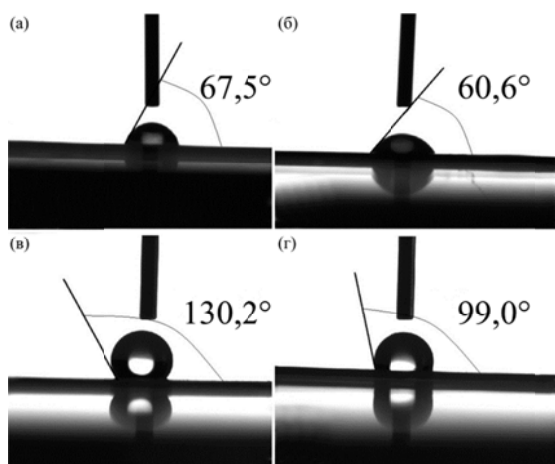


Рис. 2. Краевые углы смачивания исследуемых образцов мембран: (а) мембрана из нейлона; (б) мембрана из нейлона, обработанная СВЧ-излучением в течение 5 мин; (в) мембрана «нейлон-ПС»; (г) мембрана «нейлон-ПС», обработанная СВЧ-излучением в течение 5 мин.

Анализ полученных в ходе исследований данных показывает, что исходная мембрана из нейлона с гидрофильной поверхностью после нанесения динамического поверхностного слоя из частиц ПС становится гидрофобной, краевой угол смачивания дистиллированной водой у мембраны повышается с $67,5^\circ$ до $130,2^\circ$. А последующая обработка мембран из нейлона и «нейлон-ПС» СВЧ-излучением в течение 5 минут приводит к повышению гидрофильности поверхностного слоя. Так, краевой угол смачивания мембраны из нейлона уменьшается на $6,9^\circ$, у мембраны «нейлон-ПС» – на $31,2^\circ$. Повышение гидрофильности мембраны связано с уменьшением шероховатости поверхностного слоя и образованием открытых областей, выступающих участков, состоящих из гидрофильного нейлона бб.

В результате гидрофилизации поверхности происходит увеличение производительности разделения эмульсий с помощью мембран, обработанных СВЧ-излучением в среде атмосферного воздуха.

Изменение шероховатости мембран после обработки СВЧ-излучением подтверждается результатами топографии и изображениями поверхности исследуемых мембран, полученными методом РЭМ на рис. 3.

Структура и топография поверхности образцов мембраны из нейлона как обработанного, так и нативного не имеют значительных различий (рис. 3а,б). В то же время обработка мембраны «нейлон-ПС» СВЧ-излучением приводит к изменению структуры и топографии поверхности. У необработанной СВЧ-излучением мембраны «нейлон-ПС» преобладает аморфная структура (рис. 3в). Под воздействием СВЧ-излучения в ПС изменяется положение

фенильной группы. Последняя располагается, чередуясь по разные стороны основной молекулярной цепи (рис. 4), что способствует росту числа центров кристаллизации и упорядочению структуры.

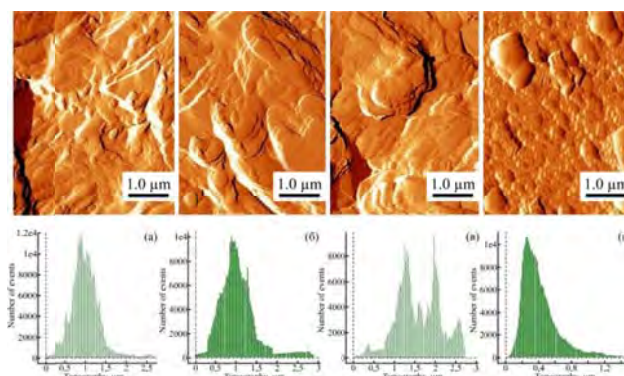


Рис. 3. Изображение поверхности с соответствующими топографическими гистограммами мембраны: (а) нейлон; (б) нейлон после обработки СВЧ-излучением в течение 5 минут; (в) «нейлон-ПС»; (г) «нейлон-ПС» после обработки СВЧ-излучением в течение 5 минут.

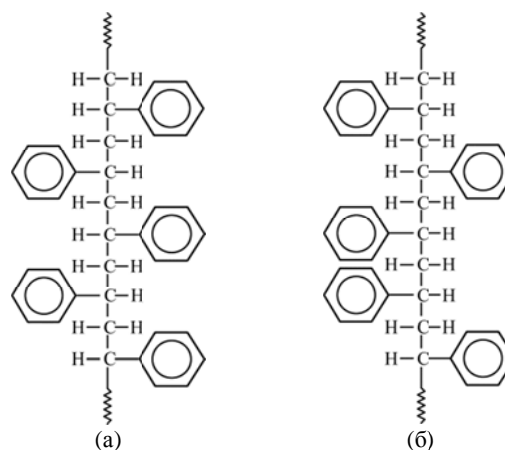


Рис. 4. Структура макромолекулы полистирола: (а) синдиотактического; (б) атактического [17].

В качестве основного топографического параметра учитывалась высота поверхности в данной точке относительно базовой плоскости, которая в данном случае представляет плоскость, соприкасающуюся с самой нижней точкой рассматриваемой поверхности.

Из рис. 3а видно, что для исходной мембраны количеством более из нейлона характерны выступы над базовой линией от $0,25$ до $1,5$ мкм, а наибольшее число выступов над базовой поверхностью мембраны количеством более 12000 имеет высоту $0,88$ мкм. После обработки мембраны из нейлона СВЧ-излучением в течение 5 минут наблюдается незначительное снижение шероховатости поверхностного слоя, наибольшее количество выступов на высоту $0,9$ мкм встречается менее 10000 раз. Данное обстоятельство объясняется разрушением дефектных областей поверхностного слоя мембраны в результате окисления кислородом

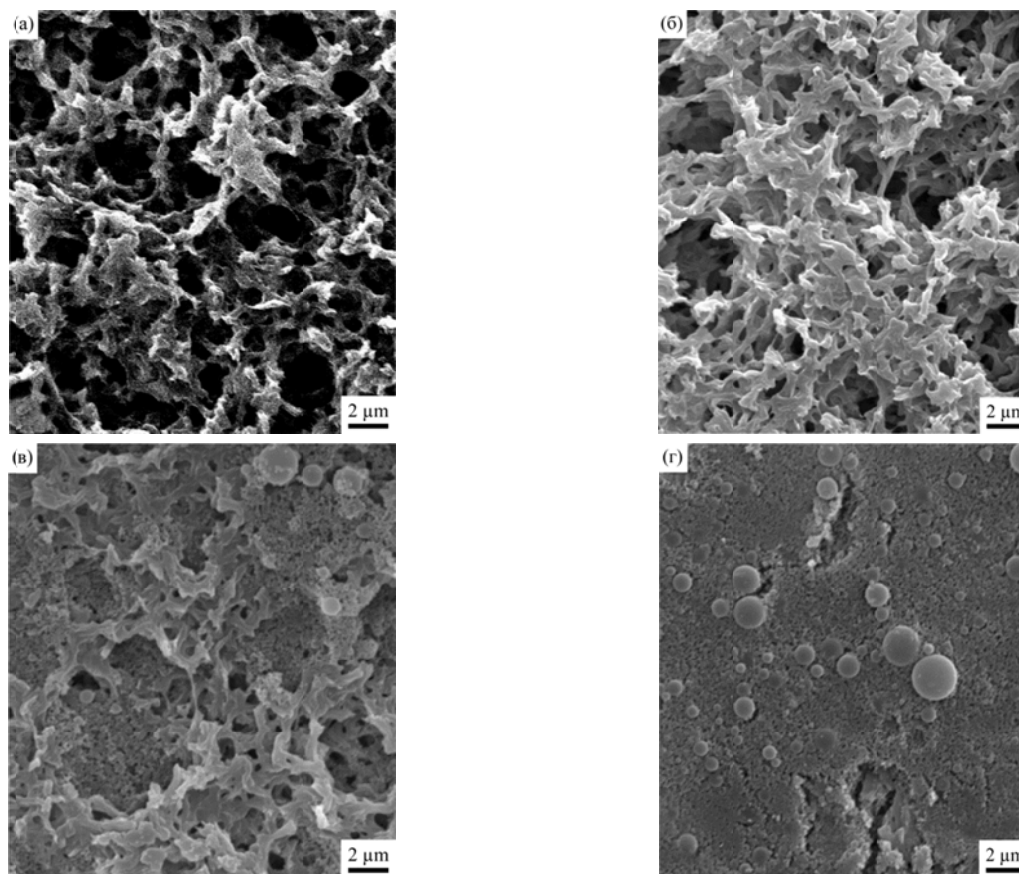


Рис. 5. Электронные микрофотографии мембран: (а) нейлон; (б) нейлон после обработки СВЧ-излучением в течение 5 минут; (в) «нейлон-ПС»; (г) «нейлон-ПС» после обработки СВЧ-излучением в течение 5 минут (увеличение в 3000 раз).

при СВЧ-излучении в среде атмосферного воздуха.

Нанесение на поверхность нейлоновой подложки динамического слоя из ПС способствует тому, что высота выступов на поверхности мембраны «нейлон-ПС» в большинстве своем составляет от 0,75 до 2,75 мкм, а наибольшее количество выступов имеют шероховатость 1,25 и 2 мкм (рис. 3в), что свидетельствует об адгезии ПС на поверхности нейлоновой подложки. Обработка мембраны «нейлон-ПС» СВЧ-излучением приводит к значительному уменьшению высоты выступов над базовой линией до величины от 0,1 до 0,7 мкм, а основное количество выступов над поверхностью мембраны «нейлон-ПС» имеет высоту 0,25 мкм (рис. 3г). Соответственно обработка поверхности мембраны «нейлон-ПС» СВЧ-излучением привела к уменьшению шероховатости в 8 раз.

Воздействие СВЧ-излучения на поверхностные свойства мембран исследовалось также с помощью метода СЭМ. Изображения поверхности исходных и обработанных СВЧ-излучением в среде воздуха мембран из нейлона и «нейлон-ПС» при увеличении в 3000 раз представлены на рис. 5.

Как следует из приведенных фотографий, морфология поверхности мембраны из нейлона

претерпевает изменения после обработки СВЧ-излучением в среде воздуха. После обработки на поверхности мембраны (рис. 5б) наблюдаются слипшиеся и расплавленные участки. Поверхностный слой и поры динамической мембраны «нейлон-ПС» покрыты ПС, основные размеры частиц которого составляют от 81 до 504 нм, также присутствуют единичные, более крупные частицы ПС с размерами до 2 мкм (рис. 5в). В результате воздействия СВЧ-излучения в течение 5 минут на мембрану «нейлон-ПС» наблюдается сглаживание поверхностного слоя последней (рис. 5г).

На рис. 6 представлены ИК-спектры поглощения исходной и обработанной СВЧ-излучением в среде воздуха мембран из нейлона.

Полосы поглощения в ИК-спектре мембраны: 680, 726, 935 см^{-1} соответствуют внеплоскостным деформационным колебаниям 2,5-замещенным связям С–Н. Область полос поглощения 1200–1274 см^{-1} относится к колебаниям С–О связи. Полосы поглощения 1370, 1475, 2855, 2869 см^{-1} соответствуют колебаниям связи –СН₂–, полоса поглощения с волновым числом 1640 см^{-1} характеризует деформационные колебания карбонильной группы, а полоса 1540 см^{-1} соответствует деформационным колебаниям связи N–H. Полоса поглощения, характеризую-

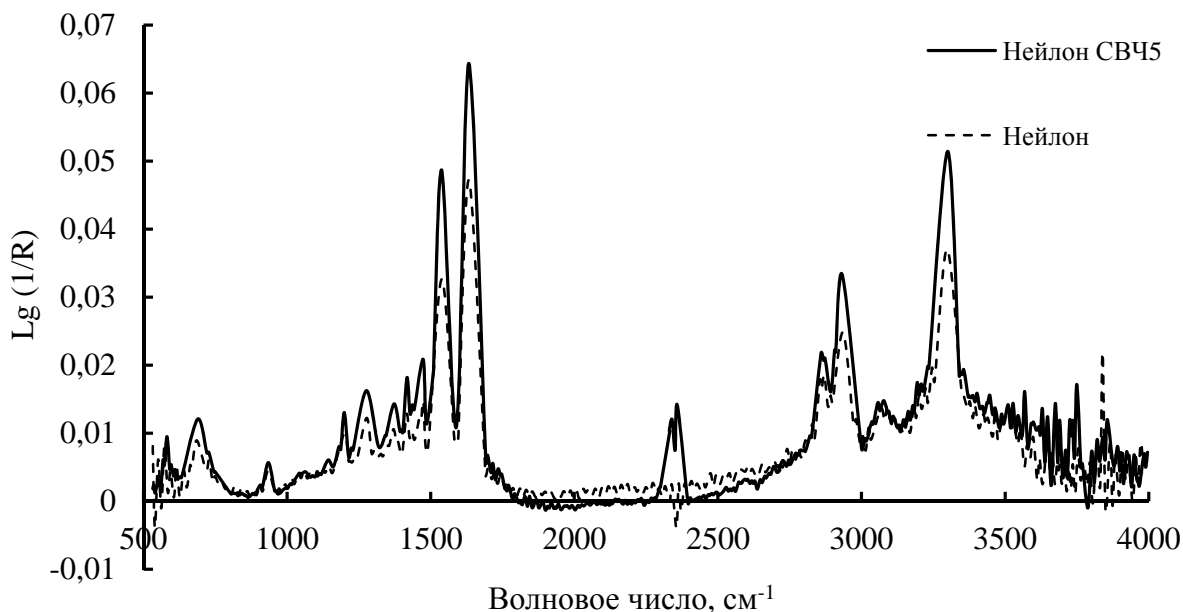


Рис. 6. ИК-спектры поглощения исследуемых образцов мембран: нейлон и нейлон после обработки СВЧ-излучением в течение 5 мин.

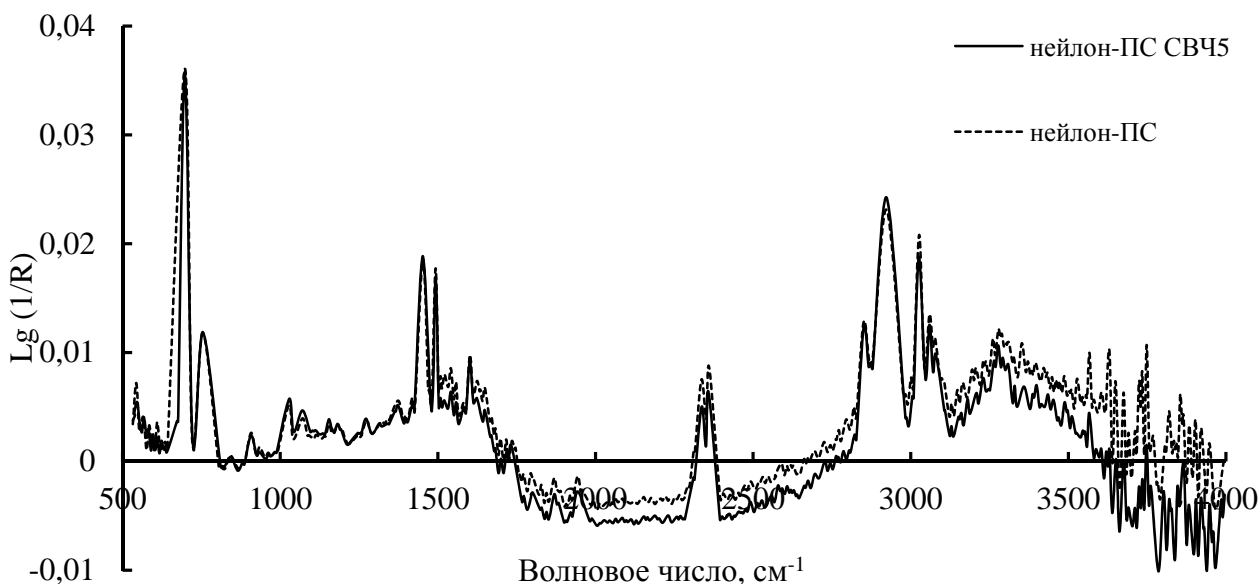


Рис. 7. ИК-спектры поглощения исследуемых образцов мембран: «нейлон-ПС» и «нейлон-ПС» после обработки СВЧ-излучением в течение 5 минут.

щаяся волновым числом 3050 см^{-1} , связана с деформационными колебаниями связи N–H вторичного амида, а полоса поглощения 3300 см^{-1} относится к валентным колебаниям связи N–H вторичных аминов. После обработки мембраны из нейлона в течение 5 минут в среде воздуха наблюдается увеличение интенсивности полос поглощения в ИК-спектрах в интервале $650\text{--}3500\text{ см}^{-1}$. Также в ИК-спектрах мембран после воздействия СВЧ-излучения в вышеназванном интервале времени отмечено появление новых полос поглощения 2340 и 2358 см^{-1} , которые можно отнести к колебаниям связей солей аминов $\text{R}_2\text{C}=\text{NH}^+$ – либо солей диазония $-\text{N}_2^+$ [18].

ИК-спектры с преобразованием Фурье исходной мембраны «нейлон-ПС» и после воздействия СВЧ-излучения в течение 5 минут представлены на рис. 7.

После обработки мембраны «нейлон-ПС» СВЧ-излучением в течение 5 минут в среде воздуха наблюдается некоторое снижение интенсивности полос поглощения в ИК-спектре в интервале от 1500 до 3500 см^{-1} . Для полос поглощения с пиками 2336 и 2360 см^{-1} (соответствуют колебаниям соли аминов $\text{R}_2\text{C}=\text{NH}^+$), а также 3026 и 3060 см^{-1} (соответствует колебаниям связи RNH_3^+) наблюдается некоторое увеличение интенсивности поглощения. Также отмечается смещение основания полосы погло-

Таблица 2. Удельная производительность мембран из нейлона и «нейлон-ПС» после обработки СВЧ-излучением

Материал мембраны	Содержание ПС, % (по массе)	Время обработки СВЧ, мин	Удельная производительность мембран, $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$	
			исходная	после обработки СВЧ-излучением
нейлон	–	5	3099	3162
		10	3150	3380
		20	3103	3745
нейлон-ПС	4,1	5	745	794
	4,0	10	618	634
	4,0	20	743	705

щения (700 см^{-1}), характерной для колебаний связи С-Н фенильной группы. Последние в макромолекуле полимера препятствуют кристаллизации ПС. По всей видимости, снижение интенсивности и смещение основания пика говорят о структурных изменениях в макромолекуле, связанных с повышением степени кристалличности ПС. Кроме того, изменение интенсивности полос поглощения в ИК-спектрах после обработки мембраны «нейлон-ПС» СВЧ-излучением в среде воздуха связано с травлением поверхности и разрушением дефектных областей поверхностного слоя мембраны.

В дальнейшем у исходных и обработанных динамических мембран «нейлон-ПС» определялась удельная производительность по дистиллированной воде (табл. 2).

Удельная производительность исходной мембраны из нейлона по дистиллированной воде составляет $\sim 3100 \text{ дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$, после обработки СВЧ-излучением наблюдается повышение производительности, причем с увеличением времени обработки производительность также повышается. Данное обстоятельство связано с увеличением размера пор мембран в результате разрушения дефектных областей поверхностного слоя, обработки СВЧ-излучением.

У динамической мембраны «нейлон-ПС» проницаемость по дистиллированной воде составляет от 618 до $745 \text{ дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$. В результате обработки мембран СВЧ-излучением в течение 5 и 10 минут производительность повышается на 17 и 12% соответственно, а после 20 минут воздействия СВЧ-излучением – уменьшается на 15%. Повышение производительности мембран после обработки СВЧ-излучением до 10 минут связано с процессом травления поверхности мембран, а снижение производительности после обработки в течение 20 минут объясняется уплотнением и плавлением частиц ПС, присутствующих в поверхностном слое и в порах подложки из нейлона.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований по воздействию СВЧ-излучения на свойства

тонкопленочных мембран из нейлона и «нейлон-ПС» найдено, что обработка последних приводит к снижению массы мембран в зависимости от времени обработки и повышению удельной производительности мембран. Также результатом СВЧ-излучения является снижение шероховатости и повышение смачиваемости поверхностного слоя мембран. Данные изменения объясняются результатами исследования ИК-спектров мембран. После обработки мембраны из нейлона наблюдается увеличение интенсивности ИК-спектров во всем интервале полос поглощения, что связано с травлением поверхностного слоя мембраны и разрушением дефектных областей поверхностного слоя в результате окисления полимера кислородом воздуха. После обработки мембраны «нейлон-ПС» СВЧ-излучением также наблюдается некоторое снижение интенсивности полос в ИК-спектрах. Кроме того, наблюдается смещение основания полосы поглощения, характерной для колебаний С-Н связи в фенильной группировке, которая в макромолекуле полимера препятствует кристаллизации ПС. Смещение основания пика говорит о структурных изменениях в макромолекуле, что приводит к повышению степени кристалличности ПС. Обработку тонкопленочных мембран СВЧ-излучением можно использовать в целях повышения смачиваемости и степени кристалличности, уменьшения шероховатости поверхностного слоя и для стабилизации динамического слоя мембран.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук МК-1107.2019.8, при финансовой поддержке Казанского (Приволжского) федерального университета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравец Л.И., Дмитриев С.Н., Гильман А.Б. *Химия высоких энергий*. 2009, **43**(3), 227–234.
2. Сафина Г.Ш., Дряхлов В.О., Галиханов М.Ф., Шайхиев Т.И. и др. *Вестник Казанского*

- технологического университета. 2015, **18**(14), 229–231.
3. Дряхлов В.О., Шайхиев И.Г., Абдуллин И.Ш., Бонев Б.С. и др. *Вода: химия и экология*. 2015, (2), 25–30.
 4. Fazullin D.D., Mavrin G.V., Andreev D.S., Dryakhlov V.O. et al. *Revista Publicando*. 2017, **4**(13), 174–186.
 5. Fazullin D.D., Mavrin G.V., Shaikhiev I.G., Fedotova A.V. et al. *J Fundam Appl Sci*. 2017, **9**(1S), 1569–1580.
 6. Абуталипова Е.М., Стрельцов О.Б., Павлова И.В., Гюльмалиев Э.А. *Нефтегазохимия*. 2016, (4), 51–55.
 7. Шулаев Н.С., Абакачева Е.М., Сулейманов Д.Ф. *Бутлеровские сообщения*. 2011, **24**(1), 95–98.
 8. Jiang Liuwei, Marcus Kenneth R. *Anal Chim Acta*. 2017, **977**, 52–64.
 9. Fazullin D.D., Kharitonova E.A., Gimadieva A.M., Mavrin G.V. *Int J Eng Technol*. 2018, **7**(4.7), 193–196.
 10. Hosur M.V., Menon A., John M.K., Rangari V.K., Jeelani S. *International SAMPE symposium and exhibition*. 2005, **50**, 1659–1669.
 11. Kim K.S., Lee K.H., Cho K., Park C.E. *J Membrane Sci*. 2002, **199**(1–2), 135.
 12. Hai-Yin Yu, Lan-Qin Liu, Zhao-Qi Tang, Meng-Gang Yan et al. *J Membrane Sci*. 2008, **311**(1–2), 216–224.
 13. Xiaobo Chen, Weishen Yang, Jie Liu, Liwu Lin. *J Membrane Sci*. 2005, **255**(1–2), 201–211.
 14. Jiang Liuwei, Kenneth R. Marcus. *Anal Chim Acta*. 2017, **954**, 129–139.
 15. Villegier S., Sixou M., Durand J. *J Phys D Appl Phys*. 2006, **39**(17), 3826–3830.
 16. Fazullin D.D., Mavrin G.V., Shaikhiev I.G., Nizameyev I.R. *Petrol Chem+*. 2018, **58**(2), 145–151.
 17. Odian George. *Principles of Polymerization*. 3rd ed. John Wiley & Sons. New York, 1991. 27 p.
 18. Тарасевич Б.Н. *ИК-спектры основных классов органических соединений*. Справочник. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2012. 53 с.

Summary

In order to improve physical-chemical properties of thin-film membranes from nylon and nylon membranes with a surface layer of polystyrene (PS) – nylon-PS, the processing of the latter was carried out with microwave radiation (microwave) at a frequency of 2450 MHz and a power of 300 W in air. As a result of exposure to microwave radiation, changes in the mass of the membranes depending on the processing time for nylon membranes – up to 0.34% and for nylon-PS membranes – up to 0.67% were revealed. The results of scanning electron microscopy showed the formation of melted and compacted areas on the membrane surface. An increase in the hydrophilicity and specific performance of membranes as a result of treatment with microwave radiation has been established. A decrease in the roughness of the surface layer of membranes and changes in the structure of the nylon-PS membrane were revealed according to the results of scanning electron microscopy. Changes in the supramolecular structure of the nylon-PS membrane were confirmed by the results of Fourier-transform infrared spectroscopy: a shift of the base of the absorption band to characteristic vibrations of the C-H bond of the phenyl group of polystyrene has been detected. The phenyl groups in the polymer macromolecule interfere with crystallization of polystyrene and a displacement of the peak base indicates structural changes in the macromolecule, which leads to an increase in the degree of crystallinity of PS. Under the influence of microwave radiation in PS, the orientation of the phenyl group changes: it is located, alternating, on opposite sides of the main chain, which contributes to an increase in the number of crystallization centers, streamlining the structure. An increase in the intensity of the absorption bands of the IR spectra after the treatment of the nylon membrane with microwave radiation is associated with the destruction of the defective regions of the surface layer of the membrane.

Keywords: membranes, nylon, polystyrene, pores, wettability, microwave radiation, Fourier-transform infrared spectroscopy, scanning electron microscopy.