

Термическая стабилизация поверхностного слоя композитной мембраны ультрафильтрации

* Д. Д. Фазуллин, Г. В. Маврин

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

Поступила 01.08.2019

После доработки 19.08.2019

Принята к публикации 19.08.2019

Исследована стабильность динамического слоя мембраны состоящего из микрочастиц полистирола (ПС). С целью повышения стабильности мембрану нейлон-ПС подвергали термической обработке при температурах от 50 до 100°C в течение 10 минут. Влияние температуры на поверхность динамической мембраны исследовалось методами сканирующей электронной микроскопии и измерением краевого угла смачивания мембран. Стабильность динамического слоя достигается при обработке в течение 10 минут и температуре 50°C, стабильность динамического слоя повышается в 4 раза, масса мембраны после обратной промывки раствором анионных поверхностно-активных веществ не уменьшается, когда у исходной мембраны нейлон-ПС масса сократилось на 0,84%. Также в результате термической стабилизации динамического слоя мембраны повышается степень разделения водомасляной эмульсии с 97 до 99%.

Ключевые слова: водомасляная эмульсия, ультрафильтрация, динамические мембраны, нейлон, полистирол, термическая обработка, стабилизация, мембранные структуры, композитные мембраны

УДК 66.081.6-278, 66.040.22

DOI: 10.5281/zenodo.3970433

ВВЕДЕНИЕ

Разделяющая способность мембран, их производительность и стабильность характеристик зависят не только от химической природы полимера, но и от особенностей технологии их получения. Традиционные методы получения полимерных мембран включают ее формование из раствора и расплава, выщелачивание (растворение) части полимера, спекание порошков, в результате чего получается однородная по составу и свойствам мембрана. Однако на основе этого подхода могут быть изготовлены множества базовых полимеров изготовлены мембраны, имеющие различные физические свойства, называемые композитными. Изменение поверхностного слоя исходного полимера (подложки) достигается в стадии формирования полимера или в результате последующей физико-химической обработки.

Сегодня будущее мембранной технологии связывают с развитием композитных мембран, количество которых уже сейчас очень велико. Композитные мембраны обладают рядом преимуществ, таких как широкий выбор вариантов поверхностного слоя, простота формирования мембраны, сочетание высоких массообменных характеристик разделительного слоя с высокими физико-механическими свойствами подложки, что резко повышает технологические параметры мембран и расширяет область их применения, а малый

расход дорогих и дефицитных материалов на формирование ультратонкого слоя снижает стоимость мембраны.

В качестве подложек для композитных мембран используют ткани, бумагу, нетканые слои из природных и синтетических волокон, пористые пленки и волокна из пластмасс, пористые изделия из металлов, стекла, керамики, уже готовые различные микрофильтрационные и ультрафильтрационные мембраны [1–4].

Разнообразны и материалы для разделительных слоев: полимеры, неорганические материалы, жидкости, суспензии и эмульсии.

Один из видов композитных мембран – динамические мембраны, которые обладают высокой степенью разделения, простотой получения и возможностью многократной замены динамического слоя [5, 6]. Частицы полимера на подложке образуют слой, не обладающий высокой стабильностью, при обратной промывке происходит разрушение динамического слоя под действием рабочего давления, и мембрана восстанавливает исходную проницаемость. Для стабилизации динамического слоя мембрану обрабатывают различными физическими способами: термически [6–9], ультрафиолетовым излучением [10–13], СВЧ излучением [14–15], плазмой в различных средах [16–18].

Термическая стабилизация является наиболее простым и эффективным способом стабилизации динамического слоя мембраны.

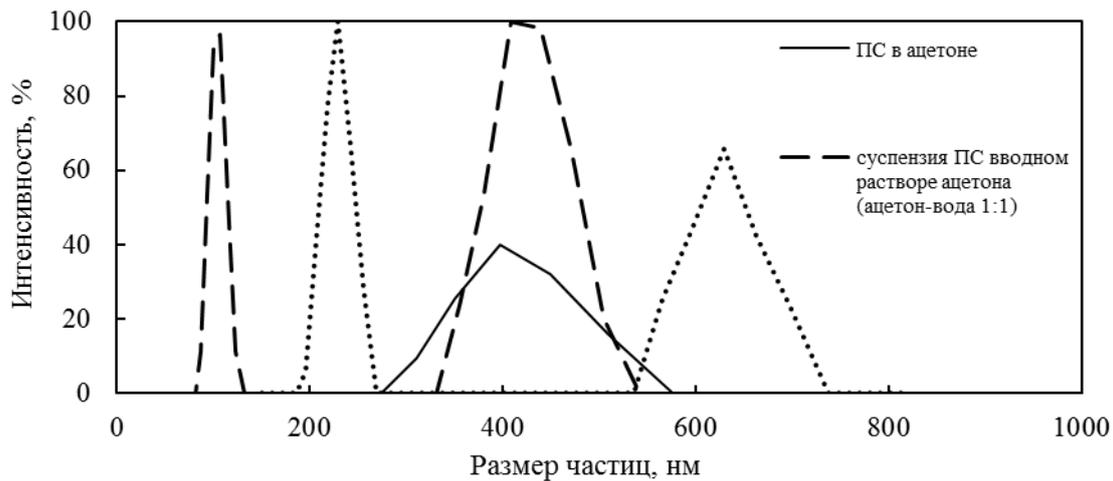


Рис. 1. Распределения размера частиц дисперсной фазы суспензии: ПС в ацетоне (сплошная черная линия); суспензия ПС в водном растворе ацетона (ацетон-вода 1:1) (пунктирная линия); суспензия ПС в водном растворе ацетона (ацетон-вода 1:10) (прерывистая линия).

Таблица 1. Размеры частиц и значения ζ -потенциала дисперсной фазы суспензии

Раствор	ζ -потенциал	Диапазон размера частиц, нм
Раствор ацетон-ПС	7,6	273–576, 4749–8833
Суспензия ПС в водном растворе ацетона (ацетон-вода 1:1)	-19,3	81–133, 331–504
Суспензия ПС в водном растворе ацетона (ацетон-вода 1:10)	-32,6	186–269, 536–737

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для разделения водомасляной эмульсии получена динамическая ультрафильтрационная мембрана с поверхностным слоем из ПС, стабильность динамического слоя мембраны достигнута в результате термической обработки.

В качестве подложки для нанесения динамического слоя использовали микрофильтрационную полимерную мембрану из нейлона-66 (полигексаметиленадипинамид), производства фирмы Phenex Filter Membranes, размер пор которой составляет 0,45 мкм. Динамический слой получали путем формирования на поверхности пористой основы полупроницаемого слоя из присутствующих в фильтруемом водном растворе ацетона взвешенных микрочастиц полистирола с размерами от 81 до 504 нм (рис. 1, табл. 1), находящегося в динамическом равновесии с раствором. Размер частиц дисперсной фазы суспензии определили методом динамического светорассеяния, а ζ -потенциал частиц дисперсной фазы суспензии – методом PALS (светорассеяние с анализом фаз), в котором детектируется сдвиг фазы рассеянного света, с помощью анализатора марки Nano Brook Omni. Суспензию получили растворением полистирола в ацетоне, после в раствор соотношении 1:1 и 1:10 добавили дистиллированную воду. Для получения суспензии использовали полистирол марки ПСМ-151 в виде гранул. Наименьший размер частиц полистирола образуется при

соотношении раствора полистирола в ацетоне к воде один к одному. Увеличение содержания воды в суспензии приводит к увеличению размера частиц полистирола.

Содержание полистирола в мембране определили гравиметрическим методом, по исходной массе мембраны и после нанесения динамического слоя.

Стабилизацию динамического слоя мембраны проводили термическим методом следующим способом. Мембраны нейлон-ПС подвергали термической обработке при температуре от 50 до 100°C в сушильном шкафу в течение 10 минут. Изменение массы мембран после термической обработки фиксировали с помощью аналитических весов.

Первоначальным этапом исследования определены основные характеристики мембранного разделения: удельная производительность по дистиллированной воде для исходных и термически обработанных мембран. Условия мембранного разделения: рабочее давление 0,1 МПа, температура жидкости 25°C. Далее проводилась обратная промывка мембран 5% раствором додецилсульфата натрия и определялась удельная производительность. Оценка стабильности динамического слоя осуществлялась по изменению удельной производительности и массы мембраны после обратной промывки моющим раствором при одинаковых условиях (дистиллированная вода, давление 0,1 МПа, температура 25°C).

Таблица 2. Изменение массы мембран нейлон-ПС после термической обработки

Наименование мембраны	Содержание полистирола, % (по массе)	Температура, °С	Масса мембраны, г		Уменьшение массы мембраны Δ , %
			до	после	
Нейлон-ПС-50	4,7	50	0,10370	0,10329	0.40
Нейлон-ПС-70	5,0	70	0,10750	0,10658	0.86
Нейлон-ПС-100	4,8	100	0,10432	0,10342	0.86

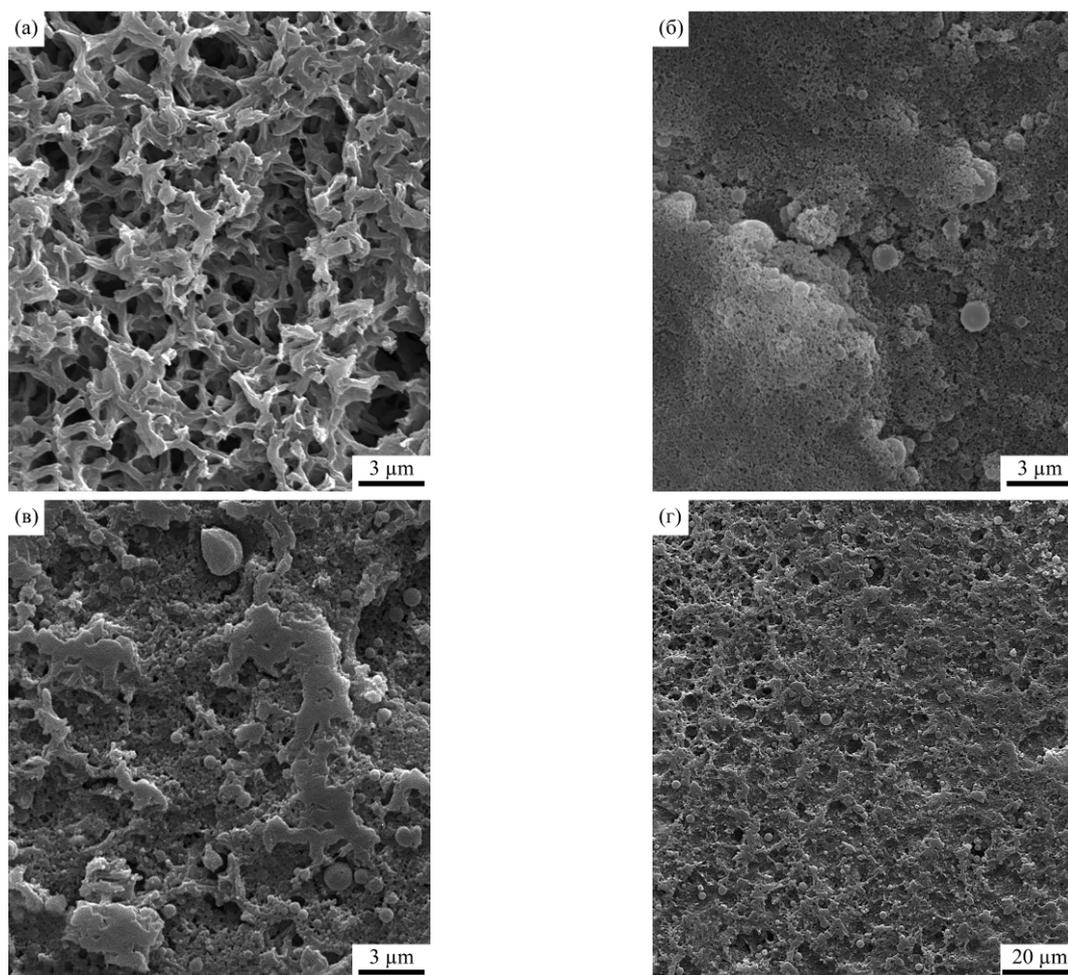


Рис. 2. Электронные микрофотографии мембран: (а) исходная мембрана из нейлона; (б) мембрана нейлон-ПС (увеличение в 3000 раз); (в), (г) мембрана нейлон-ПС обработанная при температуре 50°С в течение 10 минут (увеличение в 3000 и 500 раз, соответственно).

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

Изменения в составе динамической мембраны нейлон-ПС после термической обработки выявляли результатами исследований инфракрасных (ИК) спектров образцов мембран, полученных с помощью ИК-Фурье спектрометра марки «Инфра ЛЮМ ФТ-08» в интервале частот 600–4000 см^{-1} . Полосы поглощения были идентифицированы с помощью справочника [19].

Изменение в структуре поверхности мембран фиксировалось с помощью сканирующего электронного микроскопа марки LEO-1430 VP, изготовитель Carl Zeiss. Образцы наклеивались

на алюминиевые пластины, поверхность мембран напылялась золотом, методом катодного напыления в среде аргона и просматривалась в режиме высокого вакуума.

В качестве основных показателей мембранного разделения эмульсии рассматривались удельная производительность и степень разделения эмульсии, определяемая по изменению содержания нефтепродуктов (НП) после мембранного разделения, измеренного с помощью концентромера марки КН-3. Удельная производительность мембран рассчитывалась как отношение количества образующегося фильтрата к площади мембраны и продолжительности процесса разделения в пересчете на $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{ч}$.

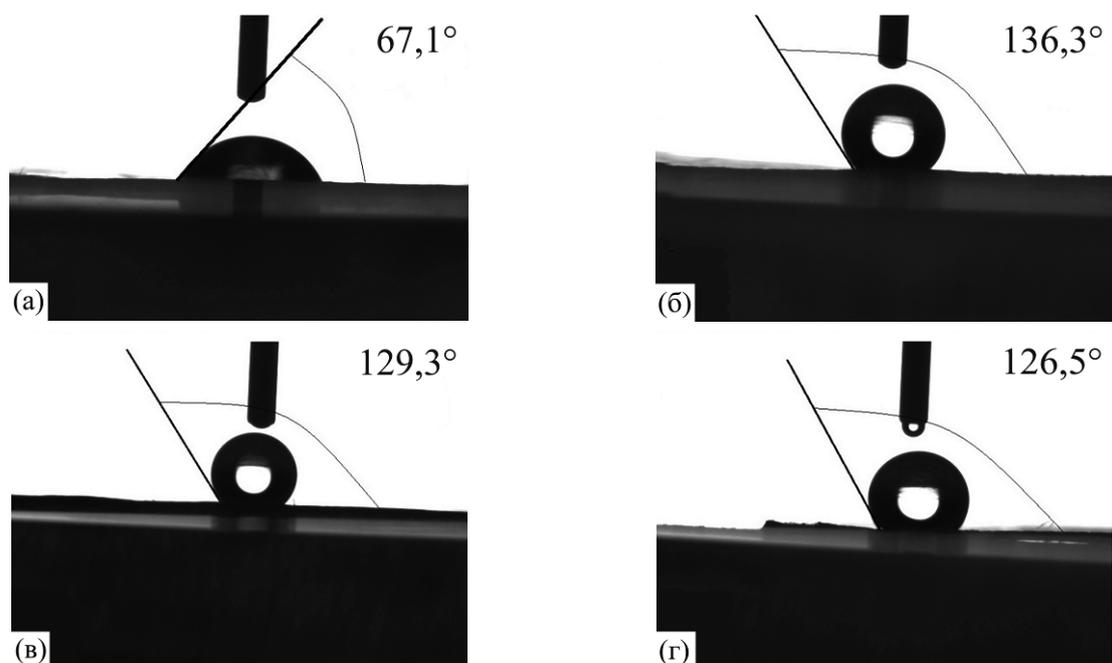


Рис. 3. Краевые углы смачивания исследуемых образцов мембран: (а) исходная мембрана из нейлона; (б) мембрана нейлон-ПС; (в) мембрана нейлон-ПС обработанная при температуре 50°C в течение 10 минут; (г) мембрана нейлон-ПС обработанная при температуре 70°C в течение 10 минут.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 2 представлены результаты изменения массы мембран нейлон-ПС после термической обработки в течение 10 минут.

Термическая обработка мембран приводит к уменьшению массы мембран. С увеличением температуры обработки мембран от 50 до 100°C наблюдается уменьшение массы от 0,40 до 0,86%. При повышенной температуре под влиянием кислорода воздуха полистирол постепенно окисляется. Окисление сопровождается возрастанием жесткости, а затем приводит к повышению хрупкости материала. По данным [20], установлено, что с повышением температуры происходит снижение регулярности структуры полимеров и уменьшение их средней молекулярной массы.

Влияние температуры на поверхность динамической мембраны исследовалось с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а методом сидячей капли проведено измерение краевого угла смачивания образцов мембран. Микроснимки поверхности мембраны из нейлона, исходной динамической мембраны нейлон-ПС и термически обработанной мембраны нейлон-ПС при увеличении в 3000 раз представлены на рис. 2.

Поверхность и поры динамической мембраны покрыты частицами полистирола разной размерности до 1,5 мкм в виде сферической формы (рис. 2б). После термической обработки мембраны нейлон-ПС при температуре 50°C в течение 10 минут происходит сглаживание

выступающих частей мембраны от базовой линии, так же на поверхности мембраны образуются расплавленные участки (рис. 2в,г).

Исследование краевого угла смачивания исследуемых образцов мембран после термической обработки выявило изменения поверхностных свойств динамической мембраны (рис. 3).

Исходная мембрана из нейлона с гидрофильной поверхностью, после нанесения динамического слоя из частиц полистирола становится гидрофобной, краевой угол смачивания дистиллированной водой у мембраны повышается с 67,1° до 136,3°. А последующая термическая обработка мембраны нейлон-ПС при температуре 50°C в течение 10 минут приводит к уменьшению краевого угла смачивания мембраны до 129,3° (рис. 3в). Уменьшению краевого угла смачивания мембраны, то есть повышению гидрофильности мембраны связано с сокращением шероховатости поверхностного слоя и образованием открытых областей, выступающих участков состоящих из гидрофильного нейлона-66. После термообработки мембраны при температуре 70°C угол смачивания поверхности мембраны уменьшается до 126,5°.

Исследование методом ИК-Фурье спектроскопии изменений в химической структуре мембраны нейлон-ПС после термической обработки представлены на рис. 4.

После термической обработки мембраны нейлон-ПС при температуре 50°C наблюдается снижение интенсивности ИК спектров во всем интервале полос поглощения, кроме полос

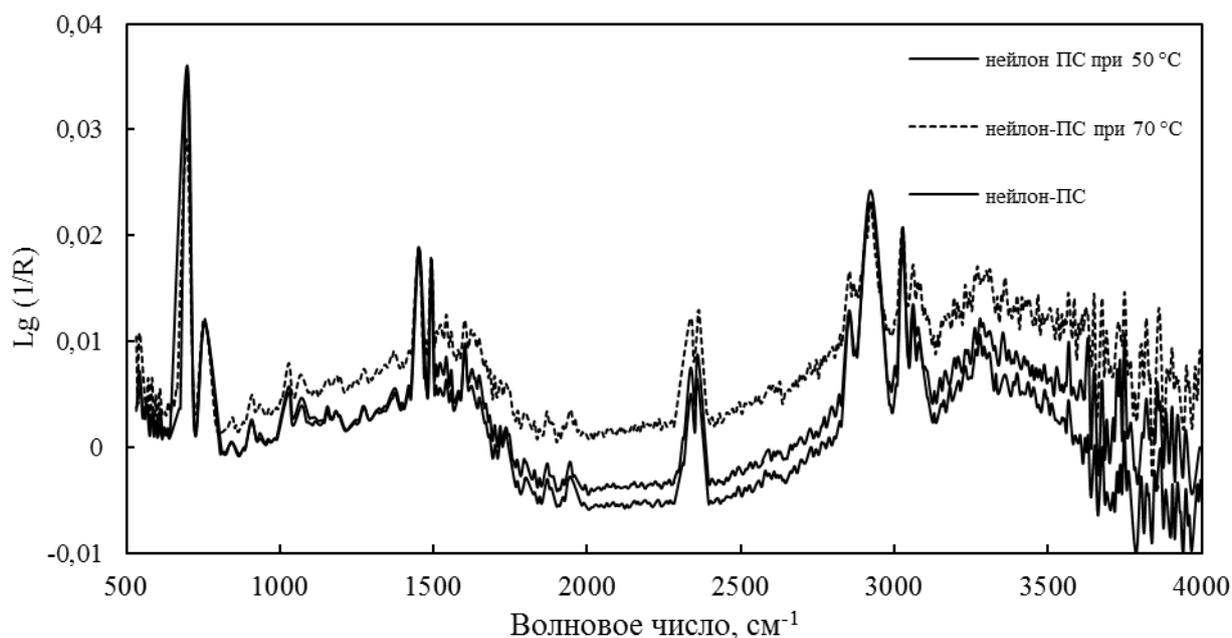


Рис. 4. ИК-спектры поглощения исследуемых образцов мембран: мембрана нейлон-ПС (сплошная черная линия); мембрана нейлон-ПС, обработанная при температуре 50°C (сплошная серая линия) и 70°C (прерывистая линия).

Таблица 3. Удельная производительность динамических мембран нейлон-ПС после термической обработки

Наименование мембраны	Содержание полистирола, % (по массе)	Температура обработки, °С	Удельная производительность мембран, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$	
			начальная	после обработки
Нейлон	—	—	5490	
Нейлон-ПС	4,0	—	803	
Нейлон-ПС-50	4,7	50	418	273
Нейлон-ПС-70	5,0	70	415	1530
Нейлон-ПС-100	4,8	100	396	1779

поглощения 1028 см^{-1} , 1070 см^{-1} (соответствуют плоскостным деформационным колебаниям связи С-Н) и 2923 см^{-1} (колебания связи $-\text{CH}_2-$), где наблюдается увеличение интенсивности. А после обработки мембраны при температуре 70°C повышается интенсивность ИК спектров в интервале полос поглощения от 500 до 4000 см^{-1} , кроме полос поглощения 720 см^{-1} (соответствует внеплоскостным деформационным колебаниям С-Н фенильной группы), 2923 см^{-1} и 3026 см^{-1} (соответствует валентным колебаниям связи С-Н ароматических соединений).

В то же время наблюдается смещение основания полосы поглощения (700 см^{-1}), характерное для колебаний связи С-Н фенильной группы, причем при повышении температуры обработки (с 50 до 70°C) появляется и снижение интенсивности данного пика. Фенильные группы в макромолекуле полимера препятствуют кристаллизации полистирола, видимо, снижение интенсивности пика говорит о повышении степени кристалличности полистирола.

Далее провели исследование влияния термической обработки динамических мембран на удельную производительность по дистиллированной воде (табл. 3).

Термическая обработка динамической мембраны при температуре 50°C в течение 10 минут приводит к снижению удельной производительности в 1,5 раза. А при температуре обработки динамической мембраны при 70 и 100°C удельная производительность мембраны увеличилась в 3,7 и 4,5 раза соответственно. Снижение удельной производительности мембраны нейлон-ПС-50 связано с уплотнением и соединением частиц полистирола под действием температуры. А термическая обработка при температурах выше 50°C приводит к возрастанию жесткости и повышению хрупкости динамического слоя полистирола, в результате на поверхности слоя образуются трещины и повышается удельная производительность.

Стабильность динамического слоя мембраны определили по изменению удельной производительности мембран после обратной промывки мембраны 5% раствором додецилсульфата натрия. Результаты представлены в табл. 4.

После обратной промывки раствором анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ) наблюдается увеличение удельной производительности у всех мембран. У исходной мембраны нейлон-ПС

Таблица 4. Удельная производительность мембран нейлон-ПС после обратной промывки 5% раствором додецилсульфата натрия

Наименование мембраны	Содержание полистирола, % (по массе)	Температура обработки, °С	Удельная производительность мембран, $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$	
			начальная	после обратной промывки моющим раствором
Нейлон-ПС	4,0	–	803	3452
Нейлон-ПС-50	4,7	50	273	312
Нейлон-ПС-70	5,0	70	1530	1780
Нейлон-ПС-100	4,8	100	1779	2147

Таблица 5. Изменение массы мембран нейлон-ПС после обратной промывки 5% раствором додецилсульфата натрия

Наименование мембраны	Содержание полистирола, % (по массе)	Температура обработки, °С	Масса мембраны, г		Уменьшение массы мембраны Δ , %
			до	после	
Нейлон-ПС	4,0	–	0,10549	0,10460	0,84
Нейлон-ПС-50	4,7	50	0,10331	0,10331	0,00
Нейлон-ПС-70	5,0	70	0,10665	0,10660	0,05
Нейлон-ПС-100	4,8	100	0,10380	0,10360	0,19

Таблица 6. Удельная производительность мембран по разделению ВМЭ

Наименование мембраны	Содержание полистирола, % (по массе)	Температура обработки, °С	Удельная производительность мембран по ВМЭ, $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$	
			начальная	после обратной промывки моющим раствором
Нейлон	–	–	162	153
Нейлон-ПС.2	4,1	–	18,0	109
Нейлон-ПС-50.2	4,3	50	10,3	16,7

Таблица 7. Степень разделения нефтепродуктов в 1% ВМЭ

Наименование мембраны	Содержание полистирола, % (по массе)	Температура обработки, °С	Концентрация нефтепродуктов, $\text{мг}/\text{дм}^3$		Степень очистки, %
			исходная	после разделения	
Нейлон	–	–	9820±982	6450±645	34,3
Нейлон-ПС.2	4,1	–		275±27,5	97,2
Нейлон-ПС-50.2	4,3	50		102±10,2	99,0

производительность повысилась в 4,3 раза. Производительность мембран обработанных при температурах 50, 70, 100°С повысилась в 1,1–1,2 раза. После термической обработки стабильность динамического слоя мембраны увеличилась в 3–4 раза.

Также стабилизация динамического слоя мембраны после термической обработки подтверждается результатами весовых исследований массы мембран до и после обратной промывки раствором АПАВ (табл. 5).

Масса мембраны нейлон-ПС после обратной промывки раствором АПАВ уменьшилось на 0,84%, из-за смывания частиц полистирола моющим раствором под действием давления. Фактическое содержание ПС в динамической мембране нейлон-ПС уменьшилось от 4 до 3,2%

(по массе). А у мембраны, обработанной при температуре 50°С масса не изменилась, при более высоких температурах обработки 70 и 100°С наблюдается уменьшение массы мембраны на 0,05 и 0,19% (по массе) соответственно.

Эффективность мембраны определили по разделению стойкой водомасляной эмульсии (ВМЭ) с размерами частиц дисперсной фазы от 100 до 400 нм. Данные по удельной производительности термически обработанных мембран по разделению ВМЭ представлены в табл. 6, а степень разделения ВМЭ, определенная по содержанию нефтепродуктов представлена в табл. 7.

При разделении ВМЭ производительность динамических мембран резко снижается в 26–40

раз по сравнению с процессом разделения дистиллированной воды. Удельная производительность термически обработанной динамической мембраны нейлон-ПС-50.2 по ВМЭ меньше производительности не обработанных мембран нейлон-ПС в 1,7 раза и меньше производительности исходной мембраны из нейлона в 16 раз. В результате обратной промывки раствором АПАВ проницаемость мембран повысилась: у мембраны нейлон-ПС – в 6 раз, у обработанной мембраны – в 1,6 раза.

Термическая стабилизация динамического слоя мембраны нейлон-ПС при температуре 50°C в течение 10 минут повысила степень разделения ВМЭ на 1,8% по сравнению с исходной мембраной нейлон-ПС и составила 99% (табл. 7).

ВЫВОДЫ

Динамический слой мембраны, состоящий из микрочастиц, не обладает высокой стабильностью и в процессе мембранного разделения или обратной мойки мембран под действием давления постепенно разрушается. Для стабилизации динамического слоя существует множество физических и химических способов. Наиболее простым и эффективным является термическая стабилизация динамического слоя. Термическая обработка мембраны нейлон-ПС приводит к снижению массы и уменьшению краевого угла смачивания поверхности мембраны. Изменение поверхностных свойств мембраны подтверждается и результатами СЭМ, наблюдается сглаживание выступающих частей мембраны от базовой линии, также на поверхности мембраны образуются расплавленные участки и уменьшается шероховатость поверхностного слоя. Стабильность динамического слоя достигается при обработке в течение 10 минут и температуре 50°C, а при температурах выше 50°C повышается хрупкость динамического слоя полистирола и в результате на поверхности слоя образуются трещины, что приводит к повышению удельной производительности. После термической обработки стабильность динамического слоя мембраны повышается в 3–4 раза, масса мембраны после обратной промывки не уменьшается, в то время как у исходной мембраны нейлон-ПС масса после промывки раствором АПАВ снизилась на 0,84 %. Также в результате термической стабилизации динамического слоя мембраны повышается степень разделения эмульсии с 97 до 99%.

БЛАГОДАРНОСТЬ

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. Fazullin D.D., Mavrin G.V., Shaikhiev I.G. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016, **7**, 1751–1757.
2. Фазуллин Д.Д., Харитоновна Е.А., Маврин Г.В., Шайхiev И.Г. *Мембраны и мембранные технологии*. 2016, **6**(2), 198–203.
3. Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В., Шайхiev И.Г. *Мембраны и мембранные технологии*. 2017, **7**(1), 57–64.
4. Ramakrishnan S., Mc Donald C.J., Prud'homme R.K., Carbeck J.D. *Journal of Membrane Science*. 2004, **231**, 57–70.
5. Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В., Шайхiev И.Г., Низамеев И.Р. *Мембраны и мембранные технологии*. 2018, **8**(1), 51–58.
6. Wenyun Li, Yunshan Bai, Qingliang Ma. *Applied Surface Science*. 2018, **458**, 903–909.
7. Weihua Qing, Xiaonan Shi, Weidong Zhang. *Journal of Membrane Science*. 2018, **564**, 456–472.
8. Roebuck K., Tremblay A.Y. *Journal of Membrane Science*. 2016, **514**, 143–154.
9. Khosravi A., King J.A., Jamieson H.L. *Langmuir*. 2014, **30**, 13994–14003.
10. Madsen J., Ducker R.E., AlJaf O. *Chemical Science*. 2018, **9**(8), 2238–2251.
11. Thu Hong Anh Ngo, Tran D.T., Cuong Hung Dinh. *Journal of Applied Polymer Science*. 2017, **134**(5), 44418.
12. Ayyavoo Jayalakshmi, Thi Phuong Nga Nguyen, Jun Byung-Moon. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2016, **506**, 190–201.
13. Korolkov Ilya V., Mashentseva Anastassiya A., Guven Olgun. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 2015, **365**(8), 419–423.
14. Xiaofei Ma, Chang Peter R., Yu Jiugao. *Carbohydrate Polymers*. 2008, **74**(4), 895–900.
15. Acharya N.K., Prajapati A.N. *5th National Conference on Thermophysical Properties. AIP Conference Proceedings*. 2010, **1249**, 129–132.
16. Gao Zhuo Fan, Shi Gui Min, Cui Yue. *Journal of Membrane Science*. 2018, **1249**, 129–132.
17. Hirsch Ulrike, Ruehl Marco, Teuscher Nico. *Applied Surface Science*. 2018, **436**, 207–216.
18. Villagra Di Carlo Betina, Alberto Claudio Habert. *Materia-Rio de Janeiro*. 2018, **23**(2), e-12064.
19. Тарасевич Б.Н. *ИК спектры основных классов органических соединений. Справочник*. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова. 2012, 53.
20. Гормонов И.В. *Синтетический каучук*. Ленинград: «Химия». 1976, 752.

Summary

To increase the stability of the dynamic layer of a membrane that consists of the polystyrene (PS) micro-particles, a nylon-PS membrane was heat treated at temperatures from 50 to 100°C within 10 minutes. Increasing the temperature from 50 to 100°C leads to a decrease of the weight up to 0.86%. Temperature impacts on a surface of the dynamic membrane was investigated by the scanning electronic microscopy and the measurement of a wetting contact angle of the studied samples of membranes. The heat treatment of nylon-PS membranes at temperature of 50°C during 10 minutes lead to a decrease of their wetting contact angle from 136° to 129°. Increasing hydrophily of membranes is associated with a decrease of roughness of a blanket and the formation of the open areas acting sites consisting of hydrophilic "nylon 66". Besides, the molten sites were formed on the surface of a membrane. In addition, the intensities of IR spectra were reduced. However, after heat treatment at a temperature of 70°C, the intensities of IR spectra increased. The specific capacity of the dynamic

membrane is reduced by 1.5 times after heat treatment at a temperature of 50°C, but at higher temperatures, the membrane permeability increased up to 4.5 times. A decrease of the specific capacity of the membrane is related to the compaction and connection of PS particles under the action of temperature. Heat treatment at temperatures above 50°C leads to an increase in stiffness and brittleness of the dynamic layer of PS, as a result the cracks are formed on the surface of the layer and the membrane permeability increases. The stability of the dynamic layer is achieved by processing for 10 minutes at a temperature of 50°C, it is increased by 4 times, while the mass of the membrane after backwash with anionic surfactants solution did not decrease when the initial nylon-PS membranes mass decreased by 0.84%. The rate of separation of the water-oil emulsion increases from 97% to 99% as a result of thermal stabilization of the dynamic layer of the membrane.

Keywords: water-oil emulsion, ultrafiltration, dynamic membranes, nylon, polystyrene, heat treatment, stabilization, membrane structures, composite membranes