

Стабилизация динамического слоя композиционных мембран УФ-излучением

Д. Д. Фазуллин^{a*}, Г. В. Маврин^a, В. О. Дряхлов^b

^aКазанский федеральный университет,
г. Набережные Челны, 423812, Россия

^bКазанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, 420015, Россия
*e-mail: denr3@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.05.2021

После доработки 23.03.2022

Принята к публикации 28.03.2022

Для стабилизации динамического слоя мембран из ацетата целлюлозы (АЦ) и полистирола (ПС) мембрану подвергали обработке УФ-излучением с помощью лабораторной установки в среде атмосферного воздуха. В качестве основы динамических мембран использовали микрофильтрационную мембрану из нейлона-66 и мембрану из политетрафторэтилена марки МФФК-3Г. Динамические мембраны ПТФЭг-АЦд, ПТФЭг-ПСд, нейлон-АЦд, нейлон-ПСд получали формированием на поверхности пористой основы полупроницаемого слоя из присутствующих в фильтруемом водном растворе ацетона взвешенных микрочастиц полистирола или ацетата целлюлозы с размерами 81–504 и 42–130 нм соответственно, находящихся в динамическом равновесии с раствором. После получения мембран поверхность обрабатывали в течение 10 минут УФ-излучением в диапазоне волн 280–320 нм при мощности УФ-излучения в 36 Вт. Стабилизация динамических мембран УФ-излучением позволила повысить удельную производительность мембран из АЦ в 10 раз и из ПС в 1,5 раза при снижении задерживающей способности данных мембран по показателю нефтепродуктов на 9–17%. Обработку полимерных мембран УФ-излучением можно использовать для повышения удельной производительности и стабилизации динамических мембран с поверхностным слоем из ПС.

Ключевые слова: композиционные мембраны, динамический слой, нейлон, ацетат целлюлозы, политетрафторэтилен, полистирол, УФ-излучение, краевой угол смачивания, ИК-Фурье-спектроскопия

УДК 66.086.2

<https://doi.org/10.52577/eom.2022.58.3.62>

ВВЕДЕНИЕ

Для процессов разделения эмульсий, водоочистки и водоподготовки часто применяют композиционные динамические мембраны ультрафильтрации, обладающие рядом преимуществ по сравнению с классическими мембранами. К основным преимуществам динамических мембран можно отнести: низкую себестоимость, возможность ремонта мембраны, простоту получения мембран, восстанавливаемость динамического слоя, возможность придания необходимых поверхностных свойств и стойкость к загрязнению поверхностного слоя мембраны [1].

Динамический слой мембраны формируют на пористой подложке. Основным требованием к пористым подложкам является сохранение их целостности при воздействии высокого давления, температуры и химических реагентов. От химической природы материала подложки зависят поверхностные свойства формируемой на ней мембраны.

Производительность мембраны мало зависит от размера пор подложки, а определяется материалом мембранообразующей добавки, но оказывает влияние на задерживающую способность мембраны.

Толщина динамического слоя мембраны зависит от соотношения скоростей продольного и поперечного потоков через мембрану, от размера частиц и концентрации мембранообразующей добавки [2]. Для каждой конкретной величины давления и продольной скорости устанавливается определенная толщина, при которой скорость подвода частиц уравновешивается их обратнораспространением отводом.

В качестве подложек могут применяться различные материалы: пористые металлические, стеклянные, керамические, графитовые изделия, трековые мембраны, пористые полимерные подложки (пластины и волокна), нетканые материалы [3–5].

Формирование динамических мембран может происходить путем тупиковой фильтрации мембранообразующей суспензии, прокачивания

суспензии или раствора под давлением вдоль пористой подложки либо в стационарных условиях выдерживанием системы в неподвижном состоянии [6]. Главными факторами, определяющими свойства получаемых мембран, являются продолжительность обработки и давление.

В качестве добавок, образующих динамический слой мембраны, могут использоваться следующие классы соединений: органические полимеры (ПВС, крахмал, декстраны), органические и неорганические ионообменники (бентонит, пыль ионитов), полиэлектролиты (гуминовые кислоты, ПАК, лигнин, желатин), гидроксиды многозарядных металлов [7, 8].

После получения динамической мембраны, главной задачей становится стабильность динамического слоя мембраны. Для решения данной задачи используют разные физические и химические способы обработки поверхностного слоя мембран, позволяющие стабилизировать и повышать прочность динамического слоя мембраны.

Стабилизации динамического слоя мембраны в работах [9, 10] достигли химическим путем. В работе [9] авторы получили динамическую мембрану путем нанесения покрытия из нанокристаллов целлюлозы, присутствующих в водной суспензии, а в качестве подложки использовали микрофильтрационную мембрану из полиэфирсульфона. Стабилизацию динамического слоя мембраны провели путем добавки в суспензию гидрохлорида полиаллиламина. После нанесения динамического слоя уменьшились размеры пор и шероховатость поверхности мембраны, в то время как водопроницаемость и механические свойства остались в значительной степени неизменными. Слой наноцеллюлозы улучшил смачиваемость мембраны. Кроме того, установлено значительное уменьшение загрязнения поверхностного слоя динамических мембран по сравнению с исходными мембранами. Авторы работы [10] получили динамические гидрофильные ультрафильтрационные мембраны на основе полиимидной матрицы с поверхностным слоем из частиц диоксида кремния для очистки воды от органических загрязнителей. Для стабилизации динамический слой из сферических наночастиц диоксида кремния покрывают раствором холин хлорид-этиленгликоль с последующей пропиткой. Авторы установили, что содержание кремния диоксида в мембране по массе составляет 2%. Полученная мембрана показала высокую удельную производительность $300 \text{ дм}^3/\text{м}^2\text{час}$ и высокую степень очистки сточной воды от фенола, равную 96%.

В исследованиях [11, 12] для стабилизации динамического слоя авторы использовали обработку поверхности мембраны низкотемпературной плазмой. Так, авторы в работе [11] получили мембраны ультрафильтрации на подложке из микрофильтрационных мембран путем нанесения полимеров карбоксибетаина. Полимеризацию мономера карбоксибетаина достигали плазменной обработкой поверхности. А в исследовании [12] разработан новый метод модификации поверхности коммерческих мембран нанофильтрации из полиэфирсульфона прививкой мономеров алкилметакрилата с полимеризацией в результате плазменной обработки в среде гелия и кислорода. Данный метод позволяет усовершенствовать синтез мембран с привитым полимером с использованием относительно зеленого реакционного растворителя и делает возможным управление морфологией поверхности с будущими применениями в процессах мембранного разделения, таких как нанофильтрация органических растворителей и опреснение.

В работах [13, 14] поверхностный слой динамических мембран обрабатывали с помощью сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения. Найдено, что стабильность динамического слоя мембран достигается при обработке СВЧ излучением в течение 5 минут. Увеличение времени обработки повышает степень травления поверхности и приводит к образованию дефектных областей динамического слоя мембраны.

Встречаются и работы, в которых поверхность динамических мембран обрабатывают УФ-излучением [15, 16]. В работе [15] для стабилизации динамического слоя мембраны полученного из частиц оксида железа в растворе дофамина использовали облучение УФ-светом. Было установлено, что при получении динамической мембраны из 5% раствора содержание частиц оксида железа в мембране составило 0,5% по массе. Оптимальное время для облучения динамического слоя 10 минут. Удельная производительность мембраны – $433 \text{ дм}^3/\text{м}^2\text{час}$, несмотря на меньшую пористость, чем исходная мембрана.

Цель данной работы – исследование УФ-излучения как способа стабилизации динамического слоя полимерных мембран из частиц ацетата целлюлозы и полистирола и установление влияния излучения на поверхностные свойства и технические характеристики мембран.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для стабилизации динамического слоя мембран с поверхностным слоем из ацетата целлюлозы (АЦ) и полистирола (ПС) мембрану

повергали обработке УФ-излучением с помощью лабораторной установки в среде атмосферного воздуха. В качестве основы динамических мембран использовали микрофльтрационную мембрану из нейлона-66 с гидрофильной поверхностью (изготовитель Phenomenex) с размером пор 0,45 мкм и мембрану из политетрафторэтилена марки МФФК-3Г с размером пор 0,45 мкм (производство ЗАО НТЦ «Владипор»). Динамические мембраны ПТФЭг-АЦд, ПТФЭг-ПСд, нейлон-АЦд, нейлон-ПСд получали формированием на поверхности пористой основы полупроницаемого слоя из присутствующих в фильтруемом водном растворе ацетона взвешенных микрочастиц полистирола или ацетата целлюлозы с размерами 81–504 и 42–130 нм соответственно, находящихся в динамическом равновесии с раствором. В результате обработки микрофльтрационных полимерных мембран суспензией полистирола (ПС) в водно-ацетоновом растворе получены образцы динамических мембран с содержанием ПС от 3 до 5% (масс.), а после нанесения динамического слоя из частиц АЦ получены образцы мембран с содержанием АЦ от 3 до 50% (масс.). Далее для стабилизации динамического слоя поверхность мембран обрабатывали УФ-излучением. Время обработки УФ излучением составило 10 минут в диапазоне волн 280–320 нм и при мощности УФ излучения 36 Вт.

Влияние УФ-излучения на массу мембран определялось с помощью аналитических весов с точностью 0,00001 г по изменению массы мембран до и после обработки.

Влагоемкость мембран определялась путем смачивания образцов мембран дистиллированной водой с последующим установлением содержания влаги с помощью автоматического весового влагомера марки A&D ML-50.

Краевой угол смачивания дистиллированной водой поверхности исходной и композиционной мембраны после нанесения слоя АЦ определяли методом лежащей капли с помощью анализатора марки Kruss DSA 20E.

Для определения изменений в составе динамических мембран снимали ИК-спектры образцов используя ИК-Фурье-спектрометр 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 (изготовитель CarlZeiss).

Основные технические характеристики мембран – это удельная производительность и

задерживающая способность. Оценка стабильности динамического слоя определялась по изменению удельной производительности и задерживающей способности мембран по показателю нефтепродуктов. Эксперименты по установлению удельной производительности исходных и обработанных УФ-излучением мембран осуществляли на лабораторной установке мембранного разделения. Процесс мембранного разделения проводили в следующих условиях: исследуемые среды – дистиллированная вода и 1% водомасляная эмульсия; удельная электрическая проводимость дистиллированной воды – 5 мкСм/см; водородный показатель – 5,8 ед. рН; рабочее давление – 0,05–0,1 МПа; температура жидкости – 25,1 °С.

Водомасляную эмульсию получили путем диспергирования индустриального масла марки И-20 в водопроводной воде с добавлением додецилсульфата натрия. Содержание индустриального масла в эмульсии составило 1%, додецилсульфата натрия – 0,5%.

Удельную производительность установили как отношение количества образующегося фильтрата к произведению площади мембраны и времени процесса в пересчете на дм³/м²·час.

Содержание нефтепродуктов в растворе и в фильтратах установили методом ИК-спектрометрии с помощью концентратомера марки КН-3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

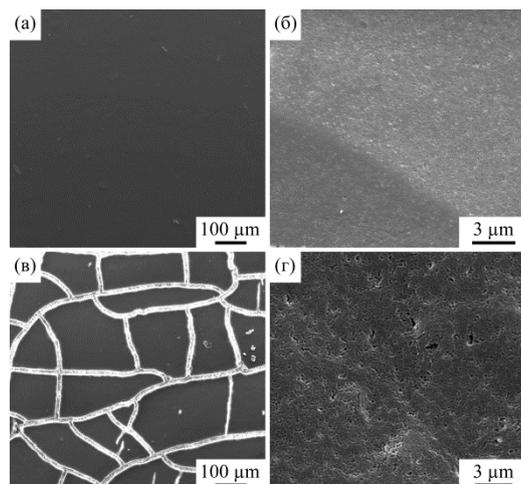
В результате стабилизации динамического слоя мембраны УФ-излучением в течение 10 минут наблюдаются изменения свойств динамических мембран, свойств мембран с поверхностным слоем из частиц АЦ – ПТФЭг-АЦд, нейлон-АЦд и поверхностным слоем из частиц ПТФЭг-ПСд, нейлон-ПСд (табл. 1).

В результате воздействия УФ-излучения на динамические мембраны наблюдается снижение массы мембран, при этом установлено, что масса динамических мембран с поверхностным слоем из АЦ уменьшается на 0,8–1,7%, а с поверхностным слоем из частиц ПС – на 0,33–0,42%.

Установлено повышение гидрофильных свойств динамических мембран с динамическим слоем АЦ в результате воздействия УФ-излучения. Так, краевой угол смачивания мембран уменьшается на 4–6°. Повышение гидрофильности мембраны может быть связано с окислением поверхностного слоя мембраны. При обработке мембран с поверхностным слоем из ПС наблюдается обратное: краевой угол смачивания мембран увеличивается на 1–7°, что,

Таблица 1. Изменение свойств динамических мембран после обработки УФ-излучением

Мембрана	Время обработки УФ-излучением, мин	Изменение массы мембран, %	Краевой угол смачивания мембран, °	Водопоглощение, %
ПТФЭг-АЦд	–	–0,87	76,9	52,1
ПТФЭг-АЦдУФ	10		72,0	46,4
ПТФЭг-ПСд	–	–0,33	132	41,2
ПТФЭг-ПСдУФ	10		133	39,9
нейлон-АЦд	–	–1,70	69,7	58,4
нейлон-АЦдУФ	10		63,9	53,6
нейлон-ПСд	–	–0,42	127	66,2
нейлон-ПСдУФ	10		134	64,5

**Рис. 1.** Электронные микрофотографии динамических мембран: (а) – нейлон-АЦд при увеличении 100 раз; (б) – нейлон-АЦд при увеличении 4600 раз; (в) – нейлон-АЦд после обработки УФ излучением, увеличение в 100 раз; (г) – нейлон-АЦд после обработки УФ-излучением, увеличение в 4000 раз.

видимо, связано с увеличением шероховатости поверхностного слоя.

Водопоглощение всех типов мембран после обработки УФ-излучением снижается на 1–6%, причем интенсивнее всего снижение водопоглощения наблюдается для мембран с динамическим слоем из АЦ. Снижение водопоглощения мембран в результате обработки УФ-излучением связано с уплотнением динамического слоя мембран и изменением шероховатости поверхностного слоя.

Для визуального установления изменений в динамическом слое мембран от воздействия УФ-излучения в течение 10 минут получены электронные микрофотографии мембран методом сканирующей электронной микроскопии. Результаты исследования представлены на рис. 1.

По результатам сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (рис. 1а,б) динамическая мембрана нейлон-АЦд обладает однородной гладкой поверхностью при множестве пор. После обработки мембраны УФ-излучением в течение 10 минут выявлены изменения в поверхностном слое мембраны: поверхностный слой потерял сплошную структуру, по всей поверх-

ности мембраны имеются трещины, разрывы поверхностного динамического слоя (рис. 1в,г). Также при сравнении рис. 1б,г выявлено увеличение размеров пор мембраны после обработки УФ-излучением.

После обработки динамических мембран с поверхностным слоем из ПС по результатам СЭМ видимых изменений не обнаружено.

Для исследования влияния УФ-излучения на структуру полимеров получены ИК-спектры динамических мембран до и после обработки УФ-излучением в течение 10 минут. На рис. 2 представлены ИК-спектры поглощения исходной и обработанной УФ-излучением в среде воздуха мембраны ПТФЭг-АЦд.

Для ПТФЭ являются характерными полосы поглощения при 720, 790 и 1150 см^{-1} , соответствующие деформационным и внеплоскостным колебаниям групп CF_2 , при 1203 см^{-1} – колебанию связи С–С. В спектрах поглощения динамической мембраны ПТФЭг-АЦд выявлены полосы поглощения, характерные для АЦ: пик при 884 см^{-1} соответствует асимметрическим валентным колебаниям бензольного кольца; сильная полоса поглощения в области 1050 см^{-1} относится к валентным колебаниям связи С–О;

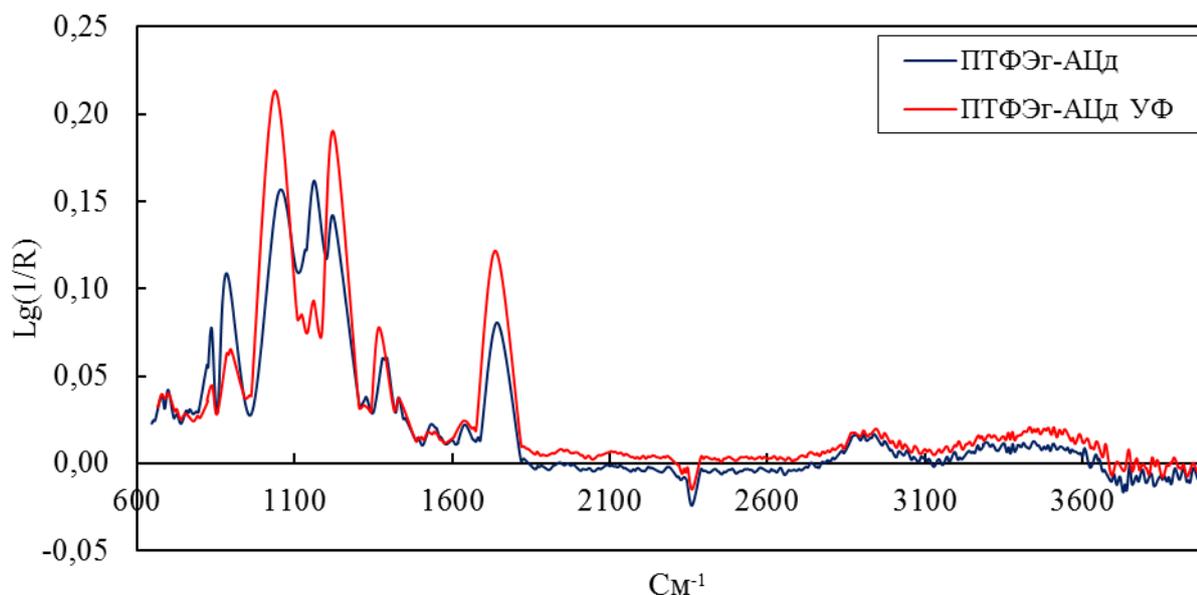


Рис. 2. ИК-спектры поглощения динамической мембраны ПТФЭг-АЦд: до и после обработки УФ-излучением.

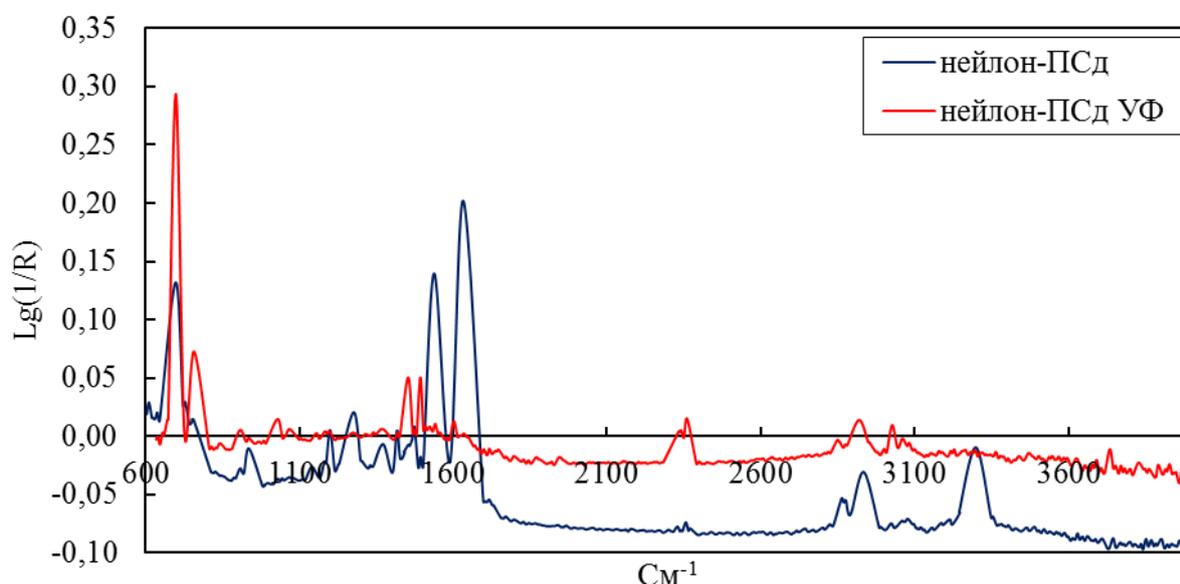


Рис. 3. ИК-спектры поглощения образцов динамической мембраны нейлон-ПСд: до и после обработки УФ-излучением.

слабая полоса поглощения в области 1415 см^{-1} соответствует симметричным деформационным колебаниям связи $-\text{CH}_3$; полоса при 1737 см^{-1} – валентным колебаниям связи $\text{C}=\text{O}$ (рис. 2).

После обработки мембраны УФ-излучением наблюдаются снижение интенсивности полос поглощения, характерных для ацетата целлюлозы, – $884, 1160 \text{ см}^{-1}$ и повышение интенсивности полос поглощения – $1050, 1223, 1368, 1737 \text{ см}^{-1}$. Две интенсивные полосы поглощения 1050 и 1223 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям связи $\text{C}-\text{F}$, повышение интенсивности данных полос поглощения связано с образованием открытых дефектных областей в поверхностном слое мембраны, состоящих из ПТФЭ (рис. 3).

Характерные полосы поглощения для нейлона соответствуют длинам волн 1635 и 1539 см^{-1} ,

которые относятся к деформационным колебаниям карбонильной группы и деформационным колебаниям связи $\text{N}-\text{H}$ соответственно. Для полистирола характерными являются полосы поглощения $2850, 2930, 3022 \text{ см}^{-1}$. Полоса поглощения 690 см^{-1} относится к внеплоскостным деформационным колебаниям связи $\text{C}-\text{H}$. Слабая полоса поглощения при 756 см^{-1} соответствует внеплоскостным деформационным колебаниям 1,3 замещенным $\text{C}-\text{H}$ группам, группы полос поглощения слабой интенсивности при $2330-2370 \text{ см}^{-1}$ соответствуют связи соли аминов $\text{R}_2\text{C}=\text{NH}^+$.

После обработки мембраны нейлон-ПСд УФ-излучением в течение 10 минут в среде воздуха наблюдается снижение интенсивности полос поглощения при 1635 и 1539 см^{-1} , которые являются характерными для нейлона, также

Таблица 2. Удельная производительность динамических мембран

Мембрана	Время обработки УФ-излучением, мин	Удельная производительность мембран, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$	
		по дистиллированной воде (0,3 МПа)	по 1% водомасляной эмульсии (0,3 МПа)
нейлон-АЦд	–	82	38
нейлон-АЦдУФ	10	944	61
нейлон-ПСд	–	472	51
нейлон-ПСдУФ	10	629	210

Таблица 3. Задерживающая способность динамических мембран по нефтепродуктам из 1% стойкой водомасляной эмульсии

Мембрана	Время обработки УФ-излучением, мин	Концентрация нефтепродуктов, $\text{мг}/\text{дм}^3$		Задерживающая способность, %
		исходная	после разделения	
нейлон-АЦд	–	1061	107	89,9
нейлон-АЦдУФ	10		203	81,0
нейлон-ПСд	–		111	89,5
нейлон-ПСдУФ	10		293	72,4

исчезла полоса поглощения при 3300 см^{-1} , относящаяся к валентным колебаниям связи N–H вторичных аминов. Данные изменения связаны с уплотнением поверхностного слоя мембраны, состоящего из частиц ПС в результате обработки УФ-излучением. Так же наблюдается увеличение интенсивности полос поглощения при $690, 756 \text{ см}^{-1}$, которые относятся к внеплоскостным деформационным колебаниям связи C–H, и группы полос при $2330\text{--}2370 \text{ см}^{-1}$, соответствующим связи соли аминов $\text{R}_2\text{C}=\text{NH}^+$. Изменение интенсивности полос поглощения ИК-спектров после обработки мембраны нейлон-ПСд связано с окислением и травлением поверхности, с последующим разрушением дефектных областей поверхностного слоя мембраны.

Далее у исходных и обработанных УФ-излучением динамических мембран определялась удельная производительность по дистиллированной воде и 1% водомасляной эмульсии (табл. 2).

По данным табл. 2, установлено повышение удельной производительности динамических мембран в результате обработки УФ-излучением. Производительность динамической мембраны нейлон-АЦд по дистиллированной воде увеличилась с 82 до 944 $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$, производительность мембраны с динамическим слоем из ПС нейлон-ПСд – с 472 до 629 $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ при рабочем давлении 0,3 МПа. В процессе ультрафильтрации водомасляной эмульсии (ВМЭ) также отмечено увеличение производительности динамических мембран после обработки УФ-излучением. Увеличение производительности мембран связано с увеличением размеров пор мембран и разрушением целостности динамического слоя

мембран, что подтверждается результатами СЭМ.

Оценку эффективности задерживающей способности динамических мембран после обработки УФ-излучением оценили по концентрации нефтепродуктов в исходной эмульсии и в фильтрах мембран. Результаты представлены в табл. 3.

Начальная концентрация нефтепродуктов (НП) в 1-% стойкой водомасляной эмульсии составила 1061 $\text{мг}/\text{дм}^3$ (табл. 3). После разделения эмульсии с помощью динамических мембран концентрация НП в фильтрате снижается. Задерживающая способность у динамических мембран с поверхностным слоем из АЦ и ПС составляет 90%. После модификации мембран обработкой УФ-излучением в течение 10 минут эффективность разделения НП снижается до 81,0% у мембраны нейлон-АЦд и до 72,4% у мембраны нейлон-ПСд. Снижение задерживающей способности мембран связано с увеличением размеров пор мембран в результате травления и разрушения дефектных областей поверхностного слоя при воздействии УФ-излучения.

Таким образом, стабилизация динамических мембран с поверхностным слоем из АЦ и ПС обработкой УФ-излучением приводит к образованию дефектов в поверхностном слое: трещин, разрывов, что ведет к повышению удельной производительности и снижению задерживающей способности мембран. Эффективными же способами стабилизации являются термическая обработка при температуре до $50 \text{ }^\circ\text{C}$ и обработка СВЧ-излучением, параметры которых были описаны в более ранних [14, 15].

ВЫВОДЫ

Для стабилизации динамического слоя мембран с поверхностным слоем из АЦ и ПС мембрану подвергали обработке УФ-излучением с помощью лабораторной установки в среде атмосферного воздуха. В результате воздействия УФ-излучения на динамические мембраны наблюдается снижение массы мембран. Стабилизация динамических мембран с поверхностным слоем из АЦ и ПС обработкой УФ-излучением ведет к образованию дефектов в поверхностном слое: трещин, разрывов, что приводит к повышению удельной производительности и снижению задерживающей способности мембран. Установлено повышение гидрофильных свойств динамических мембран с динамическим слоем АЦ в результате воздействия УФ-излучения, увеличение гидрофильности мембраны можно связать с окислением поверхностного слоя мембраны. При обработке мембран с поверхностным слоем из ПС наблюдается обратное – краевой угол смачивания мембран увеличивается, что, видимо, связано с повышением шероховатости поверхностного слоя. Водопоглощение всех типов мембран после обработки УФ-излучением снижается. Так же выявлено изменение интенсивности полос поглощения ИК-спектров после обработки мембран, что связано с окислением и травлением поверхности, с последующим разрушением дефектных областей поверхностного слоя мембраны.

Динамические мембраны ультрафильтрации использовались для разделения 1% эмульсии типа «масло в воде». Обработка мембран с поверхностным слоем из АЦ и ПС УФ-излучением позволила повысить удельную производительность мембран до 10 раз при снижении задерживающей способности данных мембран по части нефтепродуктов на 9–17%. Обработку тонкопленочных мембран УФ-излучением можно использовать в целях повышения удельной производительности и стабилизации динамических мембран с поверхностным слоем из ПС.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fazullin, D.D., Mavrin, G.V., Nasyrov, I.A. and Shaikhiev, I.G., Dynamic membranes of nylon-PTFE for separation of water-oil emulsions, *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2017, vol. 9 (1S), p. 1441.
2. Фазуллин, Д.Д., Маврин, Г.В., Термическая стабилизация поверхностного слоя композитной мембраны ультрафильтрации, *ЭОМ*, 2020, т. 56, № 4, с. 95.
3. Junaidi Nurul Fatin Diana, Othman Nur Hidayati and Shahrudin Munawar Zaman, Fabrication and characterization of graphene oxide-polyethersulfone (GO-PES) composite flat sheet and hollow fiber membranes for oil-water separation, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 2020, vol. 95, no. 5, p. 1308. <https://doi.org/10.1002/jctb.6366>
4. Nyobe Dieudonne, Ye Jianwen, Tang Bing, Build-up of a continuous flow pre-coated dynamic membrane filter to treat diluted textile wastewater and identify its dynamic membrane fouling, *J. Environ. Manag.*, 2019, vol. 252, p. 109647.
5. Hamidreza Abadikhah, Ehsan Naderi Kalali and Shabnam Behzadi, Amino functionalized silica nanoparticles incorporated thin film nanocomposite membrane with suppressed aggregation and high desalination performance, *Polymer*, 2018, vol. 154, no. SI, p. 200.
6. Fazullin, D.D., Mavrin, G.V., Shaikhiev, I.G. and Nizameev, I.R., Ultrafiltration of oil-in-water emulsions with a dynamic nylon-polystyrene membrane, *Petrol. Chem.*, 2018, vol. 58, no. 2, p. 145.
7. Hu Mengyang, Cui Zhenyu, Li Jian, Zhang Lei, et. al., Ultra-low graphene oxide loading for water permeability, antifouling and antibacterial improvement of polyethersulfone/sulfonated polysulfone ultrafiltration membranes, *J. Coll. Interface Sci.*, 2019, vol. 552, p. 319.
8. Zhang Guojun, Song Xue and Ji Shulan, Self-assembly of inner skin hollow fiber polyelectrolyte multilayer membranes by a dynamic negative pressure layer-by-layer technique, *J. Membrane Sci.*, 2008, vol. 325, no. 1, p. 109.
9. Aguilar-Sanchez Andrea, Jalvo Blanca and Mautner Andreas, Waterborne nanocellulose coatings for improving the antifouling and antibacterial properties of polyethersulfone membranes, *J. Membrane Sci.*, 2021, vol. 620, p. 118842.
10. Ali Jisha Kuttiani, Chabib Chahd Maher and Jaoude Maguy Abi, Enhanced removal of aqueous phenol with polyimide ultrafiltration membranes embedded with deep eutectic solvent-coated nanosilica, *Chem. Eng. J.*, 2021, vol. 408, p. 128017.
11. Akamatsu Kazuki, Noto Wataru and Fukuzawa Hiroyuki, Grafting of carboxybetaine polymers to polyethylene membranes via plasma graft polymerization to improve low-fouling properties and to tune the molecular weight cut-off, *Separ. Purif. Technol.*, 2018, vol. 204, p. 298.
12. Keating John J., Sorci Mirco and Kocsis Istvan, Atmospheric pressure plasma – ARGET ATRP modification of poly(ether sulfone) membranes: A combination attack, *J. Membrane Sci.*, 2018, vol. 546, p. 151.
13. Fazullin, D.D., Mavrin, G.V., Shaikhiev, I.G. and Nizameev, I.R., Microwave stabilization of a

- dynamic membrane layer, *Membranes Membrane Technol.*, 2019, vol. 1, no. 1, p. 1.
14. Fazullin, D.D., Mavrin, G.V. and Shaikhiev, I.G., Effect of MW radiation on thin-film polymer membranes, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2020, vol. 56, no. 1, p. 105.
 15. Abdi Sara, Nasiri Masoud, Yuan Shushan, et al. Fabrication of PES-based super-hydrophilic ultrafiltration membranes by combining hydrous ferric oxide particles and UV irradiation, *Separ. Purif. Technol.*, 2021, vol. 259, p. 118132.
 16. Fazullin, D.D., Mavrin, G.V., Modification of microfiltration membranes with ultraviolet radiation to separate oil-in-water emulsions, *Int. J. Eng. Res. Technol.*, 2020, vol. 13, no. 11, p. 3559.

Summary

To stabilize the dynamic layer of cellulose acetate (CA) and polystyrene (PS) membranes, the membrane was exposed to UV radiation using a laboratory setup in atmospheric air. As a base for dynamic membranes, a micro-filtration membrane made of nylon-66 and a

membrane made of polytetrafluoroethylene (PTFE) grade MFFC-3G were used. Dynamic membranes PTFE-CA, PTFE-PSd nylon-CA, nylon-PS were obtained by forming a semi-permeable layer on the surface of a porous base from suspended microparticles of PS or CA present in a filtered aqueous solution of acetone with sizes of 81–504 nm and 42–130 nm, respectively, in a dynamic equilibrium with the solution. After obtaining the membranes, the surface was treated for 10 minutes with UV radiation in the wavelength range of 280–320 nm, with a UV radiation power of 36 W. Stabilization of dynamic membranes by UV radiation made it possible to increase the specific productivity of CA membranes 10 times and of PS by 1.5 times, while reducing the retention capacity of those membranes in terms of oil products by 9–17%. UV treatment of polymeric membranes can be used to increase the specific productivity and stabilization of dynamic membranes with a PS surface layer.

Keywords: composite membranes, dynamic layer, nylon, cellulose acetate, polytetrafluoroethylene, polystyrene, UV radiation, contact angle, FTIR spectroscopy