

Воздействие ультрафиолетового излучения на свойства полимерных мембран микрофльтрации

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

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

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

Поступила в редакцию 30.11.2020

После доработки 15.12.2020

Принята к публикации 16.12.2020

Проведена обработка поверхности тонкопленочных мембран из нейлона, ацетата целлюлозы и политетрафторэтилена (ПТФЭ) ультрафиолетовым (УФ) излучением в диапазоне волн 280–320 нм, для улучшения параметров процесса мембранного разделения эмульсий типа «масло в воде». Выявлено изменение массы мембран в зависимости от времени обработки. Установлено повышение смачиваемости поверхностного слоя мембраны из ПТФЭ и нейлона. Изменения в надмолекулярной структуре мембран подтверждены результатами ИК-Фурье-спектроскопии: выявлено увеличение интенсивности полос поглощения в ИК-спектрах в интервале 600–3600 см⁻¹. УФ-излучение повлияло и на основные параметры мембранного разделения водомасляной эмульсии: установлено повышение до 7% удельной производительности мембран из нейлона и ацетата целлюлозы в зависимости от времени УФ обработки. При воздействии УФ-излучения на мембрану из ПТФЭ наблюдается снижение удельной производительности на 14% при повышении эффективности разделения эмульсии на 14%.

Ключевые слова: мембраны, нейлон, ацетат целлюлозы, политетрафторэтилен, УФ-излучение, краевой угол смачивания, ИК-Фурье-спектроскопия, микрофльтрация, эмульсия

УДК 66.086.2

<https://doi.org/10.52577/eom.2021.57.4.54>

ВВЕДЕНИЕ

Эмульсии типа «масло в воде» представляют собой стабильную систему, состоящую из дисперсионной среды – воды и дисперсной фазы – масла или нефти, стабилизированных поверхностно-активными веществами (ПАВ) и взвешенными частицами. Для очистки эмульгированных сточных вод, содержащих нефтепродукты, применяются нефтеловушки и отстаивники. Их недостатками являются длительность процесса, недостаточная степень очистки. Плохо очищенные сточные воды подвергаются неоднократно разбавлению, или хранятся в течение долгого времени в резервуарах, после чего поступают в водные объекты, что приводит к деградации биоценозов. На основании вышеизложенного актуальным является применение высокоэффективных и низкоэнергетических технологий. Одним из таких способов очистки сточных вод являются мембранные методы. Однако в процессах мембранного разделения растворов и эмульсий со временем ухудшаются характеристики процесса разделения последних, на поверхности мембраны образуется слой слабо растворимых солей (обратный осмос), гель (ультрафльтрация, микрофльтрация), наблюдается явление концентрационной поляризации. В результате требуются остановка оборудования

и мойка мембраны соответствующими моющими растворами, в худшем случае – замена мембран.

Для повышения интенсивности разделения растворов и эмульсий с помощью полимерных мембран проводят модификацию физическими или физико-химическими методами, такими как обработка низкотемпературной плазмой в среде инертных газов, в среде углеводородов [1–3], обработка коронным разрядом [4], воздействие сверхвысокочастотным (СВЧ) [5, 6] и ультрафиолетовым (УФ) [7] излучениями в различных средах. В результате физических методов модификации меняются поверхностные свойства тонкопленочных мембран, такие как смачиваемость, шероховатость поверхностного слоя, размер пор и т.д. К тому же воздействие плазмы в различных газовых средах приводит к образованию на поверхностном слое мембраны пленки. Известно, что под воздействием УФ-излучения на поверхности полимеров развиваются разнообразные процессы: травление, окисление, деструкция и сшивание, образование полярных групп и т.д. Эти процессы могут происходить одновременно, приводя в итоге к изменению структуры и поверхностных свойств полимерного материала.

Известно, что инертный материал политетрафторэтилен (ПТФЭ) плохо смачивается водой, для повышения смачиваемости полимера наиболее популярным методом модификации

является обработка в газовой плазме. В работе [8] для повышения смачиваемости мембраны из ПТФЭ исследовалось воздействие плазмы и УФ-излучения, возникающего в плазме. Авторы установили, что основной механизм, приводящий к повышению гидрофильных свойств поверхности ПТФЭ, – это разрыв связей в структуре полимера под действием глубокого УФ-излучения.

Встречается много работ, в которых УФ-излучение используется для регенерации мембран от органических поллютантов [9–11]. В частности, выявлено, что при облучении УФ излучением в течение 30 минут поверхности загрязненных мембран у них восстанавливалась производительность, а также поверхность обеззараживалась от воздействия микроорганизмов.

Цель данной работы исследование УФ-излучения как способа модификации полимерных мембран и установление влияния излучения на поверхностные свойства и технические характеристики микрофильтрационных тонкопленочных мембран.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В продолжение ранее проведенных работ [5, 12, 13] для повышения производительности и степени разделения эмульсий типа «масло в воде» производилась обработка тонкопленочных микрофильтрационных мембран из ПТФЭ, нейлона-66 и ацетата целлюлозы УФ-излучением с помощью лабораторной установки в среде атмосферного воздуха. В качестве исходных образцов, использовались микрофильтрационная полимерная мембрана диаметром 47 мм из ПТФЭ марки Phenex AF0-0514 (изготовитель Phenomenex) со средним размером пор 0,45 мкм, микрофильтрационная мембрана из нейлона-66 с гидрофильной поверхностью (изготовитель Phenomenex) с размером пор 0,45 мкм и ацетат целлюлозная мембрана марки МФАС-ВА-0,22 с размером пор 0,22 мкм (производство ЗАО НГЦ Владипор). Время обработки УФ-излучением составило 1–10 минут в диапазоне волн 280–320 нм при мощности УФ-излучения 36 Вт.

Изменение массы мембран в результате воздействия УФ-излучения определялось гравиметрическим методом по массе мембраны до и после обработки с помощью аналитических весов марки Adventurer RV 214 с точностью до 0,00001 г.

Для определения изменений в составе мембран после обработки УФ-излучением снимались ИК-спектры образцов мембран с помощью ИК-Фурье-спектрометра марки

ИнфраЛИОМ ФТ-08 в интервале частот 600–4000 см⁻¹.

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

Методом сидячей капли с использованием аппарата Kruss DSA 20E проведено измерение краевого угла смачивания исходных и обработанных УФ-излучением образцов мембран каплей дистиллированной воды.

Основные технические характеристики мембран – это удельная производительность и задерживающая способность. Эксперименты по установлению удельной производительности исходных и обработанных УФ-излучением мембран проводили на лабораторной установке мембранного разделения. Исходная эмульсия подавалась на мембранный модуль, где под действием давления происходило разделение жидкости на концентрат и пермеат. Процесс мембранного разделения проводили в следующих условиях: исследуемые среды – дистиллированная вода и модельная 3% эмульсия типа «масло в воде»; удельная электрическая проводимость эмульсии – 946 мкСм/см; водородный показатель – 9,1 ед. рН; рабочее давление – 0,05–0,1 МПа; температура жидкости – 24,5 °С.

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

Задерживающая способность мембран вычислялась как отношение содержания нефтепродуктов (НП), определяемого с помощью концентратомера марки КН-3, в эмульсии до и после мембранного разделения. Для определения задерживающей способности готовилась модельная 3% водомасляная эмульсия из индустриального масла марки И-20, додецилсульфата натрия и водопроводной воды.

Размер частиц дисперсной фазы эмульсий определяли методом динамического светорассеяния (DLS) с помощью анализатора марки Nano Brook Omni. Определено, что размеры частиц эмульсии распределены в диапазоне 6020–8450 нм с максимумом при 7100 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате воздействия на тонкопленочные полимерные мембраны из ПТФЭ и нейлона УФ-излучением в диапазоне волн 280–320 нм исследовали изменение массы мембран грави-

Таблица 1. Потеря массы мембран в результате обработки УФ-излучением в среде воздуха

| Материал мембраны | Время обработки УФ излучением, мин | Изменение массы мембран Δ , % |
|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Нейлон | 1 | 0,21 |
| | 5 | 0,30 |
| | 10 | 0,32 |
| ПТФЭ | 1 | 0,35 |
| | 5 | 0,57 |
| | 10 | 0,60 |
| Ацетат целлюлозы | 1 | -1,37 |
| | 5 | -2,11 |
| | 10 | -2,58 |

Таблица 2. Потеря массы мембран в результате обработки УФ излучением в среде воздуха

| Материал мембраны | Время обработки УФ-излучением, мин | Влагоёмкость, % | |
|-------------------|------------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | исходная | после обработки УФ-излучением |
| Нейлон | 1 | 79,0 | 73,0 |
| | 5 | | 71,6 |
| | 10 | | 71,1 |
| ПТФЭ | 1 | 0,6 | 2,8 |
| | 5 | | 3,9 |
| | 10 | | 6,2 |
| Ацетат целлюлозы | 1 | 65,6 | 58,7 |
| | 5 | | 48,8 |
| | 10 | | 39,5 |

метрическим методом. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Обработка мембран УФ-излучением приводит к незначительному изменению массы мембран. Так при воздействии на мембраны из нейлона и ПТФЭ масса мембран увеличивается до 0,32 и 0,6% соответственно, при этом с увеличением времени обработки масса увеличивается интенсивнее. Незначительное увеличение массы мембран может быть связано с фотохимическим эффектом и образованием на поверхности кислород содержащих групп. Наибольшее изменение массы происходит с мембраной из ацетата целлюлозы, обработанной в течение 10 минут. В результате воздействия УФ излучения наблюдается снижение массы до 2,6%, что может быть связано с повышением степени кристалличности полимера, образованием и разрушением дефектных областей на поверхностном слое мембраны.

Так же исследовалось влияние УФ-излучения на влагоёмкость мембран, результаты представлены в табл. 2.

В результате обработки мембран УФ-излучением влагоёмкость мембран изменилась. При обработке мембран из нейлона и ацетата целлюлозы наблюдается снижение влагоёмкости мембран, величина снижения которой зависит от времени обработки. Так, для мембраны из нейлона после обработки

УФ-излучением в течение 10 минут влагоёмкость снизилась на 7,9%, для мембраны из ацетата целлюлозы – на 26,1%. Воздействие УФ-излучения на мембрану из ПТФЭ приводит к повышению влагоёмкости мембраны с 0,6 до 6,2% после обработки в течение 10 минут.

Подтверждением воздействия УФ-излучения на поверхностные свойства мембран являются результаты измерения краевого угла смачивания исходных и модифицированных образцов мембран (рис. 1).

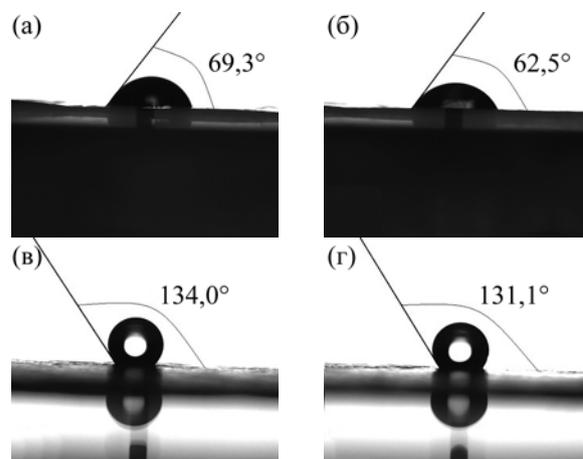


Рис. 1. Краевые углы смачивания исследуемых образцов мембран: (а) мембрана из нейлона; (б) мембрана из нейлона обработанная УФ-излучением в течение 10 мин; (в) мембрана из ПТФЭ; (г) мембрана из ПТФЭ обработанная УФ излучением в течение 10 мин.

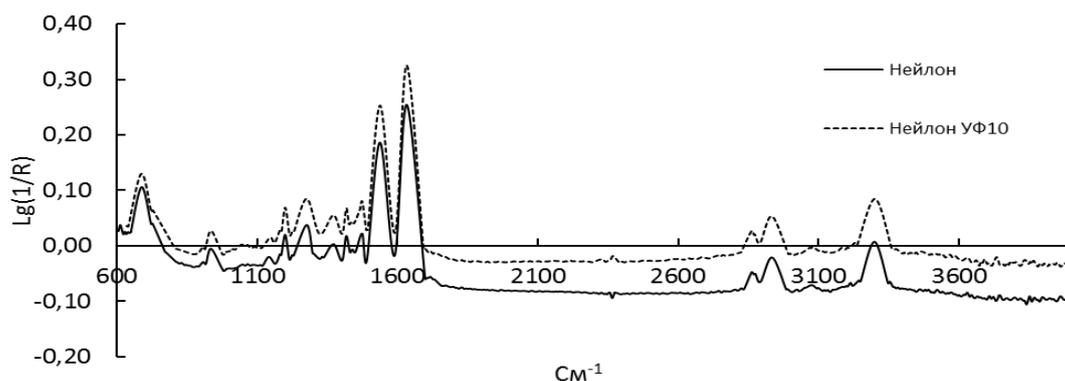


Рис. 2. ИК-спектры поглощения исследуемых образцов мембран: нейлон и нейлон после обработки УФ излучением в течение 10 мин.

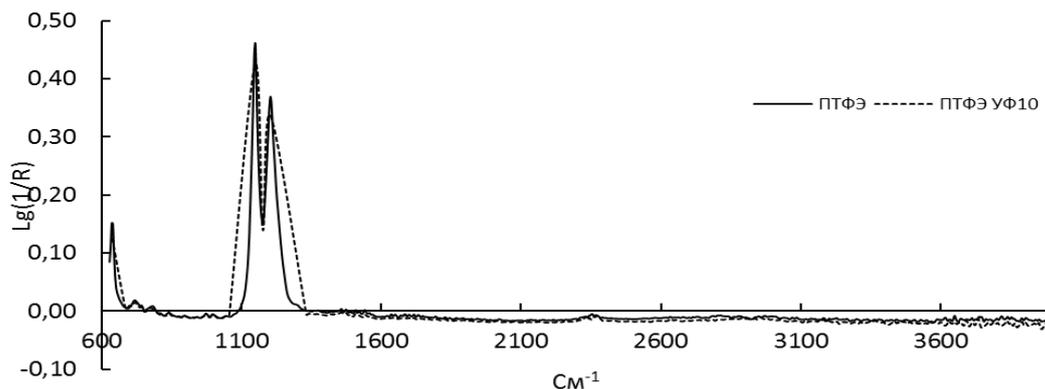


Рис. 3. ИК-спектры поглощения исследуемых образцов мембран: ПТФЭ и ПТФЭ после обработки УФ-излучением в течение 10 мин.

В результате воздействия УФ излучения в течение 10 минут на полимерные мембраны наблюдается уменьшение краевого угла смачивания поверхности каплей дистиллированной воды. При воздействии УФ-излучения на исходную мембрану из нейлона краевой угол смачивания снижается с $69,3^\circ$ до $62,5^\circ$. Воздействие УФ-излучения на мембрану из ПТФЭ также приводит к незначительному снижению краевого угла смачивания – с 134° до 131° . Следовательно, УФ-излучение влияет на смачиваемость поверхности мембран в сторону увеличения гидрофильности, при этом интенсивность гидрофилизации зависит от материала мембраны. Повышение гидрофильности мембран увеличивает проницаемость воды, что позволяет повысить эффективность разделения эмульсий типа «масло в воде».

Для выявления изменений в химической структуре мембран, получены ИК-спектры поглощения исходной и обработанной УФ-излучением в среде воздуха мембран из нейлона и ПТФЭ. ИК-спектры поглощения представлены на рис. 2 и 3.

По данным ИК-спектров, приведенных на рис. 2, полосы поглощения мембраны из нейлона $686, 935 \text{ см}^{-1}$ соответствуют внеплоскостным деформационным колебаниям 2,5-замещенным связям С–Н. Область полос поглощения $1144\text{--}1274 \text{ см}^{-1}$ относится к колебаниям С–О

связей. Полосы поглощения $1370, 1475, 2855, 2869 \text{ см}^{-1}$ соответствуют колебаниям связи $\text{--CH}_2\text{--}$, интенсивная полоса поглощения при 1632 см^{-1} характеризует деформационные колебания карбонильной группы, а более интенсивная полоса поглощения 1537 см^{-1} соответствует деформационным колебаниям связи N–H. Полоса поглощения, характеризующаяся волновым числом 3080 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. Воздействие на мембрану УФ-излучения в течение 10 минут приводит к изменениям в спектрах поглощения нейлона – к увеличению интенсивности полос поглощения в ИК-спектрах во всем интервале $600\text{--}3600 \text{ см}^{-1}$. Появление новых полос поглощения в ИК-спектрах в результате воздействия УФ-излучения не установлено.

Как видно из ИК спектров на рис. 3, наиболее интенсивные полосы, характерные для ПТФЭ, относятся к валентным колебаниям групп CF_2 (1203 и 1150 см^{-1}) и колебанию $\nu(\text{CC})$, проявляющемуся в виде перегиба при $\sim 1233 \text{ см}^{-1}$. В области ниже 650 см^{-1} располагаются деформационные и внеплоскостные колебания групп CF_2 : веерные колебания $\gamma\omega$ (CF_2) проявляются при 640 см^{-1} . По литературным данным, при обработке ПТФЭ различными методами (радиа-

Таблица 3. Удельная производительность мембран до и после обработки УФ-излучением

| Материал мембраны | Размер пор, мкм | Время Обработки УФ-излучением, мин | Удельная производительность мембран, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ | |
|-------------------|-----------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| | | | по дистиллированной воде | по модельной 3% водомасляной эмульсии |
| Нейлон | 0,45 | – | 5340 | 3933 |
| | | 1 | 5389 | 4018 |
| | | 5 | 5520 | 4255 |
| | | 10 | 5711 | 4391 |
| ПТФЭ | 0,45 | – | 4618 | 3805 |
| | | 1 | 4585 | 3570 |
| | | 5 | 4346 | 2912 |
| | | 10 | 3938 | 2559 |
| Ацетат целлюлозы | 0,22 | – | 7077 | 1530 |
| | | 1 | 7098 | 1576 |
| | | 5 | 7281 | 2199 |
| | | 10 | 7630 | 2264 |

Таблица 4. Задерживающая способность мембран по нефтепродуктам из 3% водомасляной эмульсии

| Материал мембраны | Время обработки УФ-излучением | Концентрация нефтепродуктов, $\text{мг}/\text{дм}^3$ | | Задерживающая способность, % |
|-------------------|-------------------------------|--|------------------|------------------------------|
| | | исходная | после разделения | |
| Нейлон | – | 32448±3245 | 10496±1050 | 67,7 |
| | 10 | | 11640±1164 | 64,1 |
| ПТФЭ | – | | 17328±1732 | 46,6 |
| | 10 | | 14870±1487 | 54,2 |
| Ацетат целлюлозы | – | | 337±33,7 | 98,9 |
| | 10 | | 7255±726 | 77,6 |

ционное, электронное, лазерное облучение, тепловая или механическая обработка) и в различных средах, сохраняются характерные полосы ПТФЭ [14–16]. Данное обстоятельство указывает на то, что внешнее воздействие не приводит к полному разрушению молекулярной цепи полимера. Тем не менее, есть основания предполагать, что в целом ряде случаев на молекулярном уровне происходят изменения. Так, после воздействия на мембрану УФ-излучением наблюдается снижение интенсивности полос поглощения в ИК-спектрах по всему диапазону спектров. К тому же, в результате воздействия УФ-излучения, выявлено расширение оснований наиболее интенсивных полос поглощения, относящихся к валентным колебаниям групп CF_2 (1203 и 1150 см^{-1}). Данное изменение может быть связано с образованием оксидной группы, то есть происходит окисление поверхностного слоя мембраны, что приводит к повышению смачиваемости мембраны.

Далее исследовались параметры мембранного разделения: удельная производительность и задерживающая способность, которые характеризуют эффективность процесса разделения с помощью исходных и обработанных УФ излучением мембран. Результаты определения удельной производительности микрофильт-

рационных мембран по дистиллированной воде и эмульсии типа «масло в воде» представлены в табл. 3.

По данным табл. 3, удельная производительность мембран из ацетата целлюлозы и нейлона после обработки УФ-излучением повышается, причем с увеличением времени обработки мембран производительность также увеличивается. Так, в результате обработки мембраны из нейлона в течение 10 минут производительность процесса повысилась на 6,9%, после обработки мембраны из ацетата целлюлозы удельная производительность выросла на 7,5%. При разделении водомасляной эмульсии также наблюдается зависимость удельной производительности от времени обработки УФ-излучением. Так, установлено, что после обработки УФ-излучением, удельная производительность мембран из нейлона и ацетата целлюлозы при разделении эмульсии выше на 3 и 8% по сравнению с исходными мембранами.

Если у мембран из нейлона и ацетата целлюлозы наблюдалось повышение удельной производительности после обработки УФ-излучением, то у гидрофобной мембраны из ПТФЭ после УФ-воздействия в течение 10 минут наблюдается снижение удельной производительности на 14%.

Результаты исследования задерживающей способности мембран по НП из модельной 3% водомасляной эмульсии представлены в табл. 4.

Начальная концентрация НП в эмульсии составляет более 32 г/дм³. После разделения эмульсии с помощью мембран микрофльтрации концентрация НП в фильтрате снижается. Задерживающая способность у мембраны из ацетата целлюлозы с размером пор 0,22 мкм составляет 99%. После модификации мембраны обработкой УФ-излучением в течение 10 минут эффективность разделения НП снижается до 77,6%. Эффективность разделения эмульсии мембраной из нейлона после воздействия УФ-излучения также снижается с 67,7 до 64,1%. Снижение задерживающей способности мембран из ацетата целлюлозы и нейлона связано с увеличением размеров пор мембран в результате травления и разрушения дефектных областей поверхностного слоя при воздействии УФ-излучения. При разделении эмульсии с помощью мембраны из ПТФЭ, задерживающая способность повышается с 46,6 до 54,2%. В результате воздействия УФ-излучения на мембрану из ПТФЭ происходит окисление поверхностного слоя мембраны с образованием оксидной группы, повышается смачиваемость мембраны, что и приводит к увеличению задерживающей способности по нефтепродуктам.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований по воздействию УФ-излучения на свойства полимерных мембран из ПТФЭ, нейлона и ацетата целлюлозы установлено, что обработка последних приводит к изменению массы мембран в зависимости от времени обработки. Выявлено, что для мембран из нейлона и ПТФЭ наблюдается незначительное увеличение массы мембраны, а воздействие УФ-излучения приводит к снижению массы мембраны из ацетата целлюлозы до 2,6%. Также выявлено увеличение влагоемкости мембраны из ПТФЭ и увеличение смачиваемости поверхности мембран из нейлона и ПТФЭ.

Воздействие на мембрану УФ-излучения в течение 10 минут приводит к изменениям в спектрах поглощения нейлона, наблюдается увеличение интенсивности полос поглощения в ИК-спектрах во всем интервале частот (600–3600 см⁻¹). После обработки мембраны из ПТФЭ УФ-излучением наблюдается снижение интенсивности полос поглощения в ИК-спектрах по всему диапазону, к тому же выявлено расширение оснований наиболее интенсивных полос поглощения, относящихся к валентным колебаниям группы CF₂ (1203 и 1150 см⁻¹). Данное изменение может быть связано с образованием

оксидной группы за счет окисления поверхностного слоя мембраны, что приводит к повышению смачиваемости мембраны.

Мембраны микрофльтрации использовались для разделения эмульсии типа «масло в воде». Обработка мембран из нейлона и ацетата целлюлозы УФ-излучением позволила повысить удельную производительность на 7%, при снижении задерживающей способности данных мембран. Обработка УФ-излучением мембраны из ПТФЭ приводит к снижению удельной производительности на 14% и повышению эффективности разделения на 14%. Обработку тонкопленочных мембран УФ-излучением можно использовать в целях повышения смачиваемости и удельной производительности мембран.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук МК-1107.2019.8.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fazullin, D.D., Mavrin, G.V., Shaikhiev, I.G., Nizameyev, I.R., et al., Separation of water-oil emulsion using polyethersulfone membranes treated with high-frequency low-temperature plasma, *J. Comput. Theor.Nanosci.*, 2019, vol. 16, no. 12, p. 5238.
2. Кравец, Л.И., Гильман, А.Б., Модифицирование трековых мембран с использованием низкотемпературной плазмы, *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*, 2018, т. 61, № 4–5, с. 4.
3. Пискарев, М.С., Шмакова, Н.А., Яблоков, М.Ю., Гильман, А.Б., и др., Модификация поверхности пленок фторсодержащих полимеров в низкотемпературной плазме, *Сборник трудов V Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии, ISTAPC-2008*. 2008, т. 2, с. 384.
4. Shaikhiev, I.G., Dryakhlov, V.O., Galihanov, M.F., Fazullin, D.D., et al., Separation of oil emulsion using polyacrylonitrile membranes modified by corona discharge, *Inorg. Mater. Appl. Res.*, 2020, vol. 11, no. 5, p. 1160.
5. Фазуллин, Д.Д., Маврин, Г.В., Шайхиев, И.Г., Воздействие СВЧ-излучения на тонкопленочные полимерные мембраны, *ЭОМ*, 2019, т. 55, № 3, с. 58.
6. Fazullin, D.D., Mavrin, G.V., Shaikhiev, I.G., Nizameyev, I.R., Microwave stabilization of a

dynamic membrane layer, *Membranes and Membrane Technologies*, 2019, vol. 1, no. 1, p. 1.

7. Пономарев, А.Н., Абдрашитов, Э.Ф., Бокун, В.Ч., Крицкая, Д.А., и др., УФ-модифицирование перфторированных ионообменных мембран, *Сборник трудов V Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии. ISTAPC-2008*, 2008, т. 2, с. 388.
8. Primc, Gregor, Recent Advances in Surface Activation of Polytetrafluoroethylene (PTFE) by Gaseous Plasma Treatments, *Polymers*, 2020, vol. 12, no. 10, p. 2295.
9. Luo, Jing, Chen, Weiwei, Song, Hongwei, Fabrication of hierarchical layer-by-layer membrane as the photocatalytic degradation of foulants and effective mitigation of membrane fouling for wastewater treatment, *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 699, 134398.
10. Yang, Luyu, Chen, Chuntao, Hu, Ying, Three-dimensional bacterial cellulose/polydopamine/TiO₂ nanocomposite membrane with enhanced adsorption and photocatalytic degradation for dyes under ultraviolet-visible irradiation, *J. Colloid Interface Sci.*, 2020, vol. 562, p. 21.
11. Chi, Lina, Qian, Yingjia, Guo, Junqiu, Novel g-C₃N₄/TiO₂/PAA/PTFE ultrafiltration membrane enabling enhanced antifouling and exceptional visible-light photocatalytic self-cleaning, *Catal. Today*, 2019, vol. 335 (SI), p. 527.
12. Фазуллин, Д.Д., Маврин, Г.В., Термическая стабилизация поверхностного слоя композитной мембраны ультрафильтрации, *ЭОМ*, 2020, т. 56, № 4, с. 95.
13. Fazullin, D.D., The modification of thin-film polymeric membranes by microwave radiation in a range of decimeter waves, *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, vol. 14, no. 22, p. 3889.
14. Игнатьева, Л.Н., Цветников, А.К., Лившиц, А.Н., Салдин, В.И., и др., Спектроскопическое исследование модифицированного политетрафторэтилена, *Журнал структурной химии*, 2002, т. 1, с. 69.
15. Blanchet, T.A., Peng, Y.I., Wear-resistant polytetrafluoroethylene via electron irradiation, *Lubr. Eng.*, 1996, vol. 52, no. 6, p. 489.
16. Ignatieva, L., Kuryaviy, V., Tsvetnikov, A., Polyshchuk, S., Bouznik, V.J., The structures of new forms of polytetrafluoroethylene obtained by modification of commercial PTFE using different methods, *J. Phys. Chem. Solids*, 2007, vol. 68, no. 5–6, p. 1106.

Summary

To improve the parameters of the process of membrane separation of oil-in-water emulsions, the surface of thin-film membranes of nylon, cellulose acetate and polytetrafluoroethylene (PTFE) was treated with ultraviolet (UV) radiation in the wavelength range 280–320 nm at a radiation power of 36 W, during 1–10 min. As a result of exposure to UV radiation, a change in the mass of the membranes was revealed depending on the treatment time. Thus, for membranes made of nylon and PTFE, an increase in weight is not significant, while for a membrane made of cellulose acetate, a decrease in weight up to 2.5% was found. An increase in the wettability of the surface layer of a PTFE and nylon membranes, as a result of their exposure to UV radiation, has been established. Changes in the supramolecular structure of the membranes were confirmed by the results of Fourier transform infrared spectroscopy: an increase in the intensity of absorption bands in the IR spectra in the range 600–3600 cm⁻¹ was revealed. An increase in the intensity of the absorption bands of the IR spectra after the treatment of the nylon membrane with UV radiation is associated with the destruction of the defective regions of the surface layer of the membrane as a result of oxidative destruction. A decrease in the intensity of the absorption bands in the IR spectra of the PTFE membrane is observed over the entire spectral range. In addition, the expansion of the bases of the most intense absorption bands related to stretching vibrations of CF₂ groups (1203 and 1150 cm⁻¹) was revealed, which may be associated with the formation of the oxide group of the C–O bond. That is, the surface layer of the membrane is oxidized, which leads to an increase in the membrane wettability. UV radiation also influenced the main parameters of the membrane separation of the oil-in-water-emulsion: an increase of up to 7% in the specific productivity of membranes made of nylon and cellulose acetate, depending on the time of UV treatment with a decrease in the separation efficiency was established. When the PTFE membrane was exposed to UV radiation, a decrease in the specific productivity of the process by 14% was observed with an increase in the separation efficiency of the studied emulsion by 14%.

Keywords: membranes, nylon, cellulose acetate, polytetrafluoroethylene, ultraviolet radiation, contact angle, Fourier transform infrared spectroscopy, microfiltration, emulsion