

А.Б. Есжанов, И.В. Корольков,  
Л.И. Лисовская, М.В. Здоровец  
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева  
(г. Астана, Казахстан)

## **МОДИФИКАЦИЯ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОМАСЛЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ**

Вода является одним из самых незаменимых ресурсов, используемых всеми видами промышленности. В процессе в нефтехимической, фармацевтической, металлургической и нефтегазовой промышленности образуются большие объемы нефтесодержащих сточных вод. Частые аварии с разливами нефти еще больше превращают загрязнение морской воды в экологическую катастрофу, которая требует неотложных восстановительных мероприятий. Загрязнение водных источников нефтью стало одной из важнейших проблем, вызывающих не только сильное загрязнение окружающей среды, но и угрожающих здоровью человека. Таким образом, разделение нефти и воды является глобальной проблемой, и предпринимаются активные усилия для поиска лучших решений этой проблемы.

Существует множества физико-химических методов очистки нефтесодержащих сточных вод. Ряд методов, таких как экстракция растворителем, окисление, захоронение, электрокинетика, были разработаны для разделения смесей масло/вода, но с ограниченным использованием либо из-за их низкой эффективности, либо из-за высокой стоимости [1].

Мембранные методы фильтрации с высокой эффективностью, низким энергопотреблением, простотой эксплуатации и относительно низкой стоимостью представляются одними из наиболее перспективных методов для решения проблем разделения нефти и воды. Для решения задач разделения водонефтяных эмульсий часто используют обратный осмос, ультра- и нанофильтрацию, мембранную дистилляцию и другие виды [2-3]. Однако меньше внимания уделялось использованию трековых мембран (ТМ), которые характеризуются регулярной геометрией пор с возможностью регулирования их на единицу площади, а также узким распределением пор по размерам, что должно положительно сказываться на селективности разделения [4-5].

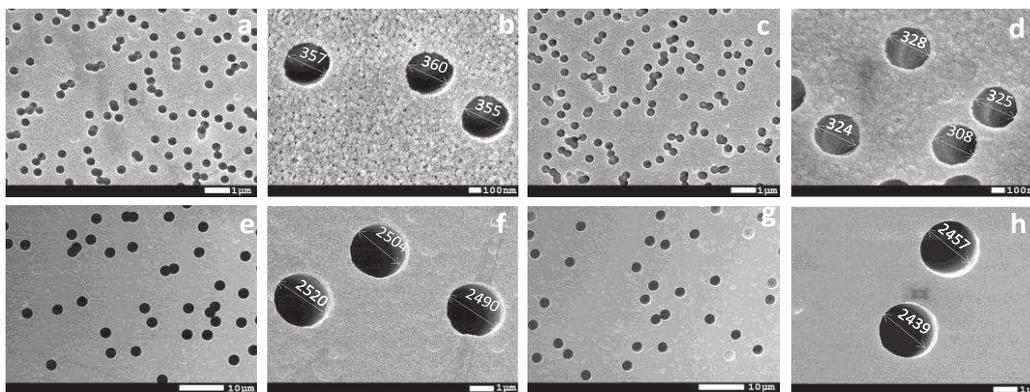
В данной работе, применяется метод фотоиндуцированной привитой полимеризации стеарилметакрилата (СМА) на поверхность ТМ на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) с большим диаметром пор

до 3 мкм. Гидрофобизированные ПЭТФ ТМ были испытаны при разделении эмульсий масло-вода с использованием модельных систем гексадекан-вода и хлороформ-вода.

Гидрофобные ПЭТФ ТМ были получены следующим образом. Пленки из ПЭТФ облучали ионами Кг на ускорителе ДЦ-60 (Астанинский филиал Института ядерной физики) с энергией 1,8 МэВ/нуклон и флюенсами ионов  $1 \cdot 10^8$  ион/см<sup>2</sup> и  $1 \cdot 10^6$  ион/см<sup>2</sup>. Затем мембраны фотосенсибилизировали и подвергали химической обработке в NaOH для получения мембран с размером пор от 350 нм до ~ 3000 нм. Модификация ПЭТФ ТМ была достигнута путем фотоиницированной прививочной полимеризации. ТМ сначала погружали в 5% раствор инициатора (бензофенон) в ДМФА на 24 ч, затем помещали в раствор стеарилметакрилата (СМА) в 2-пропанол с диапазоном концентраций 1-45% и облучали под УФ источником в течение 30-120 мин. Далее, гравиметрически рассчитывали степень прививки.

Морфологию поверхности изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-7500F. На рисунке 1 представлены микрофотографии СЭМ поверхности исходных и модифицированных ПЭТФ ТМ при различной плотности пор.

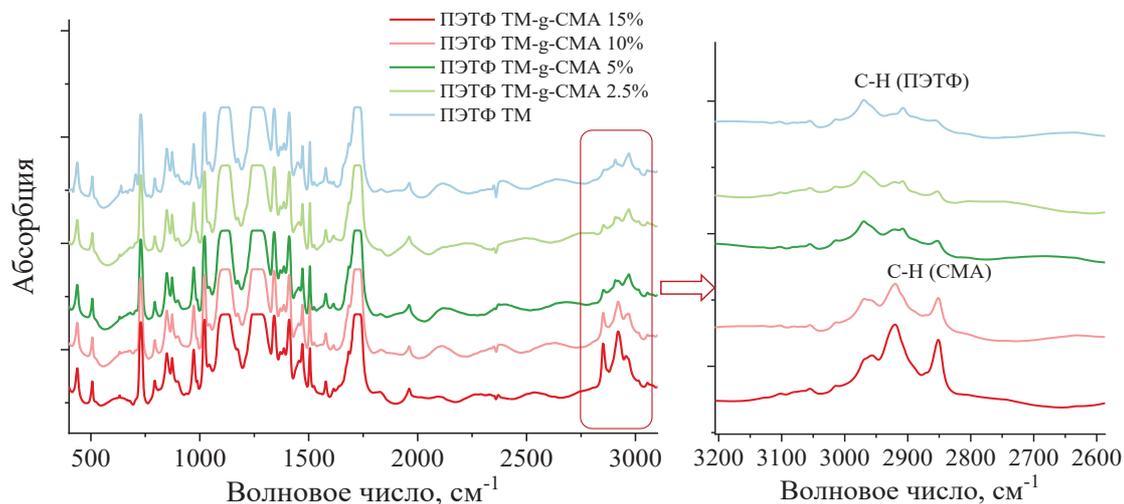
Для определения функциональных групп до и после модификации ИК-спектры были сняты на ИК-Фурье-спектрометре Infra LUM FT-08 с приставкой НПВО. Измерения проводились в диапазоне от 400 до 4000 см<sup>-1</sup>, количество сканирований - 32 при разрешении 2 см<sup>-1</sup>.



**Рисунок 1 – Микрофотографии СЭМ поверхности исходной ПЭТФ ТМ (размер пор –  $350 \pm 30$  нм, флюенс пор  $1 \cdot 10^8$ ) (а-б), после модификации в оптимальных условиях (степень прививки – 3,6%) (с-д), исходной ПЭТФ ТМ (размер пор – 2,50 мкм, флюенс пор  $1 \cdot 10^6$ ) (е-ф), после модификации в оптимальных условиях (g-h)**

ИК-спектры исходных и модифицированных ПЭТФ ТМ показаны на рис. 2. Исходные ПЭТФ ТМ демонстрируют характерные полосы поглощения при 2970 см<sup>-1</sup> (бензольное кольцо, СН), 2912 см<sup>-1</sup> (алифатический СН), 1713 см<sup>-1</sup> (C=O), 1615, 1470, 1430, 1409 см<sup>-1</sup>

(ароматические колебания углеродного скелета),  $1340\text{ см}^{-1}$  (O-CH),  $1238\text{ см}^{-1}$  (колебания связей эфирных групп C(O)-O),  $970\text{ см}^{-1}$  (O-CH<sub>2</sub>). Прививка СМА приводит к появлению новых пиков при  $\sim 2852$ ,  $2925$  и  $2951\text{ см}^{-1}$ , связанных с валентными колебаниями связей C-H длинных боковых цепей привитого полимера.



**Рисунок 2 – ИК-спектры исходных и модифицированных ПЭТФ ТМ-СМА при различных концентрациях мономера**

Полученные таким образом, модифицированные ПЭТФ ТМ-СМА с различным диаметром пор использовали для разделения эмульсий хлороформ-вода и гексадекан-вода. Во всех случаях наблюдается значительная производительность для смеси хлороформ-вода, чем для эмульсии гексадекан-вода, что может быть связано с более высокой вязкостью эмульсии. С увеличением диаметра пор наблюдается закономерный рост производительности и достигает максимального значения  $1100\text{ мл/м}^2\cdot\text{с}$  при размере пор  $3,05\text{ мкм}$  и давлении  $900\text{ мбар}$ . Степень очистки колеблется в узких пределах ( $99,8\text{--}97,0\%$ ). Стабильность гидрофобной мембраны исследовали в течение 8 циклов. Наблюдается лишь незначительное снижение потоков, в целом мембраны остаются стабильными, степень разделения не меняется. Кроме того, следует отметить, что исходные ПЭТФ ТМ также были протестированы, однако эффективность разделения была близка к нулю. Таким образом, разработанный метод модификации ПЭТФ ТМ может быть использован для гидрофобизации мембран с большими порами и успешно применяться для разделения нефти и воды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang N. A review on oil/water emulsion separation membrane material / Zhang N., Yang X., Wang Y., Qi Y. et al // Journal of Environ-

mental Chemical Engineering. – Elsevier, 2022. – Vol. 10, № 2. – P. 107257

2. Kasemset S. Effect of polydopamine deposition conditions on fouling resistance, physical properties, and permeation properties of reverse osmosis membranes in oil/water separation / Kasemset S., Lee A., Miller D., Freeman B., Sharma M. // Journal of Membrane Science. – Elsevier, 2013. – Vol. 425–426. – P. 208–216.

3. Prince J.A. Ultra-wetting graphene-based PES ultrafiltration membrane – A novel approach for successful oil-water separation / Prince J.A., Bhuvana S., Anbharasi V., Ayyanar N. et al // Water Research. – Pergamon, 2016. – Vol. 103. – P. 311–318.

4. Muppalla R. Fouling resistant nanofiltration membranes for the separation of oil–water emulsion and micropollutants from water / Muppalla R., Jewrajka S.K., Reddy A.V.R. // Separation and Purification Technology. – Elsevier, 2015. – Vol. 143. – P. 125–134.

5. Dong B. Bin. Polymer-derived porous SiOC ceramic membranes for efficient oil-water separation and membrane distillation / Dong B. Bin., Wang F.H., Yang M.Y., Yu J.L. et al // Journal of Membrane Science. – Elsevier, 2019. – Vol. 579. – P. 111–119.

УДК 621.315.592.2

И.А. Иванов, Д.А. Нургулеев  
ТГПУ им. Л. Н. Толстого (г. Тула, Россия)

## **ОПИСАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА БАЗЕ МАГНИТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА EUO**

В гетероструктурах наблюдаются гетеропереходы с переходным слоем промежуточного состава толщиной в несколько периодов решётки. Свойства гетероструктур зависят от размера элементов структуры и от их расположения в пространстве. Гетероструктуры могут возникнуть, когда кристаллическая решётка одного из полупроводников переходит в решётку другого, при этом при этом периодичность структуры будет сохранена.

При гетеропереходах меняются ширина запрещённой зоны полупроводника и расположение краёв зоны проводимости и валентной зоны. При гетеропереходах увеличивается концентрация носителей тока и образуется электронный газ, в котором электроны не связаны с ионами кристаллической решётки. При гетеропереходах происходит контакт материалов, являющихся полупроводниками [1].