

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Пеньковой Анастасии Владимировны на тему: «Транспортные характеристики и физико-химические свойства мембран на основе полимерных материалов, модифицированных углеродными наночастицами», представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 05.17.18 - Мембраны и мембранная технология.

Диссертационная работа Пеньковой А.В. посвящена разработке новых полимерных мембран, содержащих углеродные наночастицы, с заданными транспортными характеристиками для разделения промышленно-значимых жидких смесей, а также исследованию зависимости физико-химических параметров трансмембранного массопереноса от природы полимеров и модификаторов. Данная работа является, несомненно, **актуальной** в связи с быстрым развитием мембранных процессов, относящихся к процессам устойчивого развития из-за своих экологических и экономических преимуществ по сравнению с традиционными процессами разделения, которое требует разработки новых способов получения мембранных материалов для увеличения эффективности и производительности технологических систем. Таким образом, разработка новых мембран со смешанной матрицей на основе полимеров и их композитов с углеродными частицами, изучение их структуры, физико-химических свойств, транспортных характеристик в процессе мембранного разделения промышленно-значимых жидких смесей, а также анализ и оптимизация свойств мембран в зависимости от природы полимера и веществ для разделения являются крайне актуальным и перспективным направлением не только в научной сфере деятельности, но и для дальнейшего использования в промышленных отраслях.

Работа обладает **теоретической и практической значимостью**. Автором был предложен термодинамический подход к описанию диаграмм первапорации бинарных смесей и разработаны новые композиционные и/или диффузионные мембраны со смешанной матрицей на основе композитов полимер/углеродный модификатор, обладающих улучшенными транспортными характеристиками, для решения определенных задач разделения: композиционные мембраны с тонким селективным слоем различного химического состава для эффективного выделения сложного эфира и воды в гибридном процессе «реакция+первапорация», для эффективного проведения первапорационной дегидратации и разделения метанолсодержащих систем, разработаны ультрафильтрационные мембраны с высокой устойчивостью к загрязнению и для удаления эстрогена из воды.

Диссертационная работа (60 табл., 93 рис.) состоит из введения, четырех глав, выводов, списка сокращений и списка литературы, включающего 407 источников. Работа выглядит логически выстроенной и законченной. Во введении обоснована актуальность, степень разработанности темы исследования, цель работы, задачи, положения, выносимые на защиту, научная новизна, степень достоверности, теоретическая и практическая значимость. В первой главе представлен литературный обзор, включающий основные характеристики используемых мембранных процессов в диссертационной работе (первапорации и ультрафильтрации) для разделения жидких смесей, представлены и проанализированы транспортные характеристики лабораторных мембран и коммерческих аналогов, представлен литературный обзор о влиянии введения углеродных частиц в

Вх. № 09/2-48 от 22.01.2020



полимерные матрицы на физико-химические свойства и транспортные параметры при использовании в различных мембранных процессах (газоразделении, первапорации, ультрафильтрации). Во второй главе представлена экспериментальная часть работы (реактивы, используемые материалы, способы получения и приготовления композитов и мембран на их основе, методы анализа и методики). В третьей главе продемонстрированы результаты и полученные данные по разработке и исследованию первапорационных мембран на основе различных полимеров. Стоит отметить, что транспортные характеристики разработанных мембран были сопоставлены не только с имеющимися данными в литературе, но и с коммерческими аналогами. Четвертая глава посвящена разработке ультрафильтрационных мембран на основе различных полимеров и полимерных композитов с высокой устойчивостью к загрязнению белками и для решения важной экологической задачи – очистки воды от эстрогенных примесей. Следует отметить еще положительную сторону работы, где автором после каждого раздела по изучению композита и мембран на их основе сделаны обобщающие заключения, что облегчает и упрощает восприятие большого массива полученных данных. На основании полученных данных были сделаны обоснованные выводы, которые в полной мере отразили результаты работы, их значимость и новизну. **Научная новизна работы** заключается в следующем: было показано, что введение углеродных наночастиц (фуллерена, фуллеренолов, карбоксифуллерена и углеродных нанотрубок) приводит к улучшению транспортных характеристик первапорационных и ультрафильтрационных мембран из различных по природе полимеров (поливинилового спирта, поли(2,6-диметил-1,4-фениленоксида), поли-м-фениленизофталамида, полисульфона и повинилилхлорида); были предложены оптимальные составы для композитов полимер/углеродный модификатор, обеспечивающие наиболее эффективное разделение веществ; была установлена корреляция структуры разработанных полимерных мембран, модифицированных углеродными частицами, с их физико-химическими и транспортными свойствами.

**Диссертационная работа соответствует специальности 05.17.18 - Мембраны и мембранная технология** в большинстве разделов паспорта специальности:

-Принципы создания материалов для мембран. Способы получения и свойства мембран из органических и неорганических материалов. Разработка методов синтеза мембран с заранее заданными свойствами.

-Теория мембранных процессов, механизмы переноса компонентов через мембраны различной природы. Кинетика мембранного транспорта.

-Разработка принципов функционирования мембран различного назначения (обратноосмотических, нано-, ультра-, микрофильтрационных, первапорационных, ионообменных, газоразделительных) при мембранном разделении компонентов жидких и газовых смесей и мембранном катализе.

В работе следует отметить большой объем исследований, выполненных с привлечением большого числа экспериментальных методов (спектроскопии комбинационного рассеяния и ядерного магнитного резонанса, ИК-спектроскопия, динамическое и статическое рассеяния света, дифференциальная сканирующая калориметрия, термогравиметрический анализ, сканирующая электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, вискозиметрия, первапорация, ультрафильтрация, газовая хроматография, рефрактометрия, и др.), что подтверждает **достоверность результатов**, полученных различными методами анализа, и согласованность с другими научными мировыми группами, а также обоснованность **выводов работы. Личный вклад автора**



является несомненным и состоит в постановке задач, планировании, проведении первапорационных и части ультрафильтрационных экспериментов, исследовании физико-химических и транспортных свойств мембран, а также анализе, интерпретировании и обобщении полученных данных, подготовке к представлению и нубликации научных трудов. Полученные данные в диссертации прошли анробацию на всероссийских и международных конференциях. По материалу диссертации опубликовано 126 работ: 27 статей в ведущих рецензируемых международных и отечественных изданиях, 93 тезиса докладов на конференциях, 4 патента РФ, 2 главы в книгах, индексируемых в базе данных Scopus. А также, работа была поддержана грантами различных фондов, в том числе Российским научным фондом (№17-73-20060) и Российским фондом фундаментальных исследований (№12-03-33155 мол\_вед, №15-58-04034 бел\_мол\_а, №03-03-32379а, №06-03-32493 а, №09-03-00812 а, №14-38-50081 мол\_нр).

Однако, данная диссертационная работа не лишена замечаний:

1. В разделе 2.3.5. «Исследование равновесного набухания мембран» приведены две формулы для расчета степени равновесного набухания, почему не использовать вместо формул 18 и 19 для всех исследованных мембран одну формулу для расчета  $S_0 = [(m_n - m_0)/m_0] \times 100\%$ ?
2. В разделе 3.4.4.1.1. «Обработка плазмой» представлен метод плазменной обработки, который не привел к улучшению транспортных характеристик мембран. Данный метод мог бы быть исключен из диссертационной работы или представлен коротко в виде ссылки на опубликованную статью.
3. Недостаточно обоснован выбор электролитов в диссертационной работе.

Указанные замечания не оказывают влияния на положительную оценку диссертации, которая представляет собой успешно выполненное научное исследование.

Считаю, что диссертация Пеньковой Анастасии Владимировны на тему: «Транспортные характеристики и физико-химические свойства мембран на основе полимерных материалов, модифицированных углеродными наночастицами» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Пенькова Анастасия Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 05.17.18 - Мембраны и мембранная технология. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

член диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук,  
профессор,  
профессор кафедры аналитической химии  
Института Химии  
Санкт-Петербургского государственного университета

  
Семенов В.Г.

17.01.2020

