СНО СПбГУ

IV

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНЧЕСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Санкт-Петербург
6-7 ноября 2025

Степанова А. С., Дмитренко М.Е., Кузьминова А.И., Пенькова А.В.
Санкт-Петербургский государственный университет
st113221@student.spbu.ru

Stepanova A.S., Dmitrenko M.E, Kuzminova A.I., Penkova A.V.
Saint Petersburg State University
st113221@student.spbu.ru

Модификация мембран на основе хитозана путем введения оксидов металлов для первапорации

Аннотация. Работа посвящена разработке новых мембран со смешанной матрицей для первапорационного разделения смеси вода/изопропанол. В качестве мембранного материала был выбран хитозан, модифицированный микро- и наночастицами оксидов металлов. Структура и физико-химические свойства мембран были исследованы с помощью различных методов анализа (спектроскопии, микроскопии, термогравиметрическим анализом, измерением краевых углов, др.). Транспортные характеристики разработанных мембран исследовались в процессе обезвоживания изопропанола в широком диапазоне концентраций.

Ключевые слова: мембрана со смешанной матрицей, хитозан, оксид металла, первапорация.

Modification of Chitosan-based Membranes by Introduction of Metal Oxides for Pervaporation

Abstract. The work is devoted to the development of novel mixed matrix membranes for pervaporation separation of water/isopropanol mixtures. Chitosan was selected as the membrane material and modified with metal oxide micro- and nanoparticles. The structure and physicochemical properties of the membranes were studied using various analysis methods (spectroscopy, microscopy, thermogravimetric analysis, contact angle measurements, etc.). The transport characteristics of the developed membranes were tested during the dehydration of isopropanol in a wide range of concentrations.

***Keywords*:** mixed matrix membrane, chitosan, metal oxide, pervaporation.

Первапорация – это мембранный процесс разделения жидких смесей, основанный на диффузии компонентов через мембрану с последующим их испарением. Механизм массопереноса в данном методе включает три стадии: сорбцию компонентов на поверхности мембраны, диффузию компонентов через мембрану с разной скоростью, десорбцию с обратной стороны мембраны. Скорость диффузии зависит от химического сродства к материалу мембраны и размера молекул. Первапорация является высокоэффективной технологией для разделения азеотропных смесей, компонентов с близкими температурами кипения и удаления микропримесей, что затруднительно при использовании традиционных методов разделения (например, дистилляции). Первапорация широко применяется для обезвоживания органических растворителей (например, для этанола или изопропанола), разделения ароматических соединений, являясь высокоэффективным, экологически безопасным и энергосберегающим методом.

Быстрое развитие первапорации требует поиска новых высокоэффективных мембранных материалов с заданными свойствами. Модификация мембран позволяет достичь улучшенных транспортных характеристик, а именно таких параметров, как селективность и удельная производительность. Существует несколько способов модификации мембран,

которые могут быть использованы для достижения этих целей. Однако одним из наиболее эффективных методов модификации является создание мембран со смешанной матрицей путем введения органических или неорганических наполнителей в матрицу полимера.

Хитозан (ХТ) – это природный катионный полимер, получаемый из хитина, который является основным компонентом панцирей ракообразных (крабов, креветок), а также клеточных стенок грибов. Это биосовместимый, биоразлагаемый и нетоксичный материал, который обладает уникальным набором свойств, что делает его чрезвычайно востребованным в самых разных областях – от медицины до сельского хозяйств.

В данном исследовании были разработаны и исследованы новые первапорационные мембраны на основе ХТ, модифицированного микро- и наночастицами оксидов металлов (TiO_2, Fe_3O_4, ZnO, Cr_2O_3 и др.). Структуру и физико-химические свойства разработанных мембран были изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), атомно-силовой микроскопии (АСМ), измерения угла смачивания водой, термогравиметрического анализа (ТГА), ИК спектроскопии и экспериментов по набуханию. Транспортные свойства полученных мембран на основе ХТ, модифицированного оксидами металлов, были исследованы в процессе первапорационного разделения смеси вода/изопропанол. Было установлено, что введение микро- и наночастиц оксидов металлов в матрицу ХТ привело к изменению структуры и физико-химических свойств модифицированных мембран, что вызвало улучшение транспортных характеристик.

Исследование было выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант № 25-79-10102, https://rscf.ru/en/project/25-79-10102/. Экспериментальная часть исследования была осуществлена при использовании оборудования Ресурсного центра геомоделирования, Центра химического анализа и исследований материалов, Центра методов рентгеновской дифракции, Центра исследований магнитного резонанса, Центра инновационных технологий композитных наноматериалов, Центра нанофотоники, Вычислительного центра, Криогенного отдела, Центра термогравиметрических и калориметрических исследований и Междисциплинарного ресурсного центра нанотехнологий Санкт-Петербургского государственного университета.

Пузикова М.Е., Дмитренко М.Е., Кузьминова А.И., Пенькова А.В.,
Санкт-Петербургский государственный университет
St095099@student.spbu.ru

Puzikova M.E., Dmitrenko M.E., Kuzminova A.I., Penkova A.V.,
Saint-Petersburg State University
St095099@student.spbu.ru

РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ СУКЦИНАТА ХИТОЗАНА ДЛЯ ПЕРВАПОРАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ ИЗОПРОПАНОЛ/ВОДА

Аннотация. Работа посвящена разработке новых высокоэффективных мембранных материалов на основе композитов сукцинат хитозана/оксид металла, анализу их физико-химических и транспортных характеристик в процессе первапорационного разделения.
Ключевые слова: сукцинат хитозана, первапорация, оксиды металлов, биополимер.

DEVELOPMENT AND STUDY OF MEMBRANES BASED ON CHITOSAN SUCCINATE MODIFIED WITH METAL OXIDES FOR ENHANCED PERVAPORATION DEHYDRATION OF ISOPROPANOL

Abstract. The work is devoted to the development of new highly efficient membrane materials based on composites of chitosan succinate/metal oxide, analysis of their physicochemical and transport characteristics in the pervaporation.
***Keywords*:** chitosan succinate, pervaporation, metal oxides, biopolymer.

Первапорация – это мембранный процесс разделения жидких смесей, основанный на диффузии компонентов через мембрану с последующим их испарением. Этот метод имеет такие преимущества, как эффективное разделение азеотропных смесей и компонентов с близкими температурами кипения, низкое энергопотребление и компактность оборудования. В то же время важной задачей является поиск новых мембранных материалов с заданными свойствами. Большинство промышленных мембран изготавливаются из синтетических полимеров, которые вносят значительный вклад в загрязнение окружающей среды. В данной работе в качестве матрицы мембраны использовался сукцинат хитозана (СХ), поскольку он является перспективным биоразлагаемым полимером с хорошими физико-химическими характеристиками и широко используется в пищевой промышленности (искусственные пищевые продукты), косметике (стабилизация пен, кремов, эмульсий) и биотехнологии (доставка лекарств). Одним из способов улучшения свойств мембран является введение органических и/или неорганических модификаторов в матрицу полимера, в частности, путем создания мембран со смешанной матрицей (МСМ). В данном исследовании были разработаны новые МСМ для первапорации путем введения наночастиц оксидов металлов (TiO_2, ZnO, FeO/Fe_2O_3 и т. д.) в матрицу СХ для разделения смесей изопропанола и воды. Модификация наночастицами привела к значительным изменениям в морфологии, механических и физико-химических свойствах мембран и улучшила транспортные характеристики. Разработанные мембраны были изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии и атомно-силовой микроскопии, ядерного магнитного резонанса и

инфракрасной спектроскопии, термогравиметрического анализа и измерения углов смачивания. Транспортные свойства разработанных мембран на основе композитов СХ/наночастицы были оценены при первапорации смесей изопропанола и воды в широком диапазоне концентраций.

Исследование было поддержано Российским научным фондом, грант № 25-79-10102, https://rscf.ru/en/project/25-79-10102/. Экспериментальную работу обеспечивало оборудование Ресурсных центров нанотехнологий, Магнитного резонанса, Криогенного отдела, Центра термогравиметрических и калориметрических исследований, Вычислительного центра, Центра химического анализа и исследования материалов, Центра «Нанопроизводство фотоактивных материалов (нанофотоника)» в Санкт-Петербургском государственном университете.