

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Российский химико-технологический университет имени
Д.И. Менделеева»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке
РХТУ им. Д.И. Менделеева



[Handwritten signature]

А.А. Щербина

«10» декабря 2022 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

2.6.15 МЕМБРАНЫ И МЕМБРАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Москва 2022 г

Программа составлена Каграмановым Георгием Гайковичем, д.т.н., профессор, зав. кафедрой, кафедры мембранной технологии.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Терминология.

Основные понятия и размерности величин.

2. Технология мембран.

Принципы классификации мембран; требования к мембранам; методы исследования структуры мембран и их калибровки, сертификация мембран. Методы производства мембран. Мембранный рынок - мировой и российский.

3. Баромембранные процессы.

Массоперенос через мембрану. Модели и уравнения переноса. Движущая сила баромембранных процессов Основные характеристики процессов разделения жидких смесей. Удельная производительность, влияние основных технологических параметров (состав и концентрация исходного раствора, величина рН, температура, рабочее давление). Понятие наблюдаемой и истинной селективности мембран, способы их измерения и расчета. Влияние состава и концентрации исходного раствора, величины рН, температуры, рабочего давления на селективность мембран. Явление концентрационной поляризации. Мембранные аппараты, классификация, основные требования и характеристики. Технологические особенности и сферы оптимального применения аппаратов с рулонными, трубчатыми, полволоконными мембранными элементами и аппаратов типа «фильтрпресс». Влияние и расчет гидравлического сопротивления мембранных аппаратов. Методы очистки и регенерации мембран. Технологический расчет установок мембранного разделения жидких смесей. Секционирование мембранных аппаратов. Многоступенчатые схемы (простые и с рециклом). Расчет баромембранных процессов с использованием компьютерных программ производителей мембранной техники. Примеры промышленного применения баромембранных процессов.

4. Диффузионные мембранные процессы.

Движущая сила и уравнения массопереноса. Пористые и непористые мембраны Массоперенос через непористые мембраны. Структурноморфологические особенности непористых мембран. Механизм

массопереноса - растворимость, диффузия и проницаемость компонентов. Влияние температуры, давления и состава разделяемой смеси жидкостей и газов на проницаемость и селективность разделения. Явление концентрационной поляризации. Диффузионное разделение газов. Мембраны и мембранные системы. Разделение на непористых мембранах: влияние основных технологических параметров на производительность и селективность разделения газовых смесей. Особенности разделения газов на пористых мембранах. Поверхностные явления в пористых средах. Расчет проницаемости и селективности разделения пористых мембран. Способы организации процесса. Материальный баланс. Расчет мембранных модулей (аппаратов) и установок. Промышленное применение мембранного разделения газов. Техноэкономическая оценка процесса, сравнение с другими способами - криогенным, абсорбционным и адсорбционным. Диализ. Принцип осуществления процесса, движущая сила. Простой и Доннановский диализ. Равновесный и динамический (непрерывный) процессы. Требования к мембранам. Особенности массообмена, уравнения переноса. Влияние внешних факторов на проницаемость и степень разделения. Гемодиализ и его характеристики.

5. Электромембранные процессы.

Типы электромембранных процессов. Области применения. Мембраны для электромембранных процессов. Основные характеристики мембран (функциональная группа, число переноса, толщина, набухаемость). Перенос через мембраны: осмос, электроосмос, диффузия, Доннановское исключение. Концентрационная поляризация. Влияние основных технологических параметров на концентрационную поляризацию (температура, гидродинамические режимы и т.д.). Электродиализное обессоливание и концентрирование. Модификации электродиализа (электродеионизация, электродиализ с биполярными мембранами, реверсивный электродиализ) - особенности протекания данных процессов. Энергозатраты на процесс электродиализного разделения. Конструктивные особенности аппаратов для электромембранных процессов; схема организации потоков; геометрия канала. Методика расчета электродиализных установок. Промышленное применение электромембранных процессов - примеры, техникоэкономические показатели. Сравнительная характеристика электромембранных и других методов обессоливания.

6. Мембранные процессы с инверсией фаз.

Первапорация (испарение через мембрану). Задачи разделения, типы и способы проведения, варианты аппаратного оформления. Характеристики эффективности разделения. Принципы выбора мембран и материалов для

мембран и способы их модификации. Механизм и факторы, определяющие эффективность разделения: природа и состав разделяемой смеси; температура; толщина мембраны; внешнедиффузионные сопротивления и остаточное давление под мембраной. Методы исследования и расчета, примеры практического применения и их анализ, технико-экономические показатели. Мембранная дистилляция. Характеристики эффективности разделения. Варианты реализации и их сопоставление. Мембраны: материалы и способы получения; структура пор. Механизм. Факторы, определяющие гидродинамический и тепловой режим в напорном и дренажном каналах, тепло - и массоперенос через мембрану: давление, температура, природа и концентрация разделяемой жидкости (капиллярные явления); поверхностноактивные вещества. Методы исследования и расчета, примеры практического применения и их анализ, технико-экономические показатели. Мембранный катализ (МК) и мембранные реакторы (МР). Типы мембранных катализаторов и конструкции МР. Преимущества проведения каталитических реакций в МР. Реакции с использованием мембранных катализаторов. Примеры практического применения МР и их анализ, техникоэкономические показатели. Мембранный биореактор. Мембранные контакторы: газ-жидкость; жидкость/жидкость; с изменением фаз. Примеры технологических схем, их анализ и расчет.

7. Мембранные процессы в альтернативной энергетике.

Топливные элементы (ТЭ). Основные источники энергии. Химические источники тока, ТЭ: щелочные; с прямым окислением метанола; с электролитом из расплава карбоната лития и натрия; фосфорнокислые; с протонообменной мембраной; обратимые; с твердым электролитом. Мембраны и мембранные материалы. Сферы применения, техникоэкономические аспекты.

Вопросы для кандидатского экзамена по научной специальности

2.6.15 Мембраны и мембранная технология

1. Влияние основных технологических параметров на эффективность разделения (селективность и удельная производительность мембран) в мембранных процессах с фазовым переходом.
2. Влияние основных технологических параметров на эффективность разделения (селективность и удельная производительность мембран) в баромембранных процессах.
3. Влияние основных технологических параметров на эффективность разделения (селективность и удельная производительность мембран) в диффузионных мембранных процессах.

4. Приведите пример применения установок разделения на основе диффузионных мембранных процессов. Приведите технико-экономическую оценку предложенной системы по сравнению с традиционными методами.

5. Приведите пример применения установок разделения на основе мембранных процессов с фазовым переходом. Приведите техникоэкономическую оценку предложенной системы по сравнению с традиционными методами.

6. Приведите пример применения установок очистки на основе баромембранных процессов. Приведите технико-экономическую оценку предложенной системы по сравнению с традиционными методами очистки.

7. Простой (обычный) диализ. Массообмен при диализе. Диализные характеристики мембран. Эффект Доннана, Доннановский диализ для нейтральных и заряженных мембран.

8. Методика расчета установок разделения на основе мембранных процессов с фазовым переходом.

7. Методика расчета установок разделения на основе диффузионных мембранных процессов.

8. Методика расчета установок разделения на основе баромембранных процессов.

9. Методика расчета установок разделения на основе электромембранных процессов.

10. Механизм разделения в диффузионных мембранных процессах.

11. Механизм разделения в баромембранных процессах.

12. Механизм разделения в мембранных процессах с фазовым переходом.

13. Механизм разделения в электромембранных процессах.

15. Методология получения полимерных мембран для разделения, очистки и концентрирования газовых смесей на примере мембранной осушки и очистки природного газа от кислых компонентов.

16. Методология получения керамических микро- и ультрафильтрационных мембран для очистки, разделения и концентрирования жидкостей на примере обеспложивания соков.

Список рекомендуемой литературы:

1. Дытнерский Ю. И., Брыков В. П., Каграманов Г. Г. Мембранное разделение газов -М., Химия, 1991. - 272 с.

2. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет, М.: Химия - 1986 - 272 с.

3. Свитцов А.А. Мембранное разделение смесей. Теория и практика. – М.: ДеЛи, 2020. – 269 с.
4. Свитцов А.А. Мембранное разделение смесей. Проектирование и расчет. – М.: ДеЛи, 2021. – 208 с.
5. Комиссаров, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии. В 5 ч. Часть 2: учебник для вузов / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент ; под редакцией Ю. А. Комиссаров. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2020. — 227 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09101-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/454497>
6. Baker R. W. Membrane technology and applications. – John Wiley & Sons, 2012.
7. Первов А.Г. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация / Монография: – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 232 с.
8. Дубяга В.П., Перепечкин Л.П., Каталевский Е.Е. Полимерные мембраны. – Москва, Химия, 1981. - 232 с.
9. Chandan Das, Kibrom Alebel Gebru Polymeric Membrane Synthesis, Modification, and Applications – CRC Press Taylor & Francis Group, 2019 –410 p.

