

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Российский химико-технологический  
университет имени Д.И. Менделеева» (РХТУ им. Д.И. Менделеева)

*Программа вступительных испытаний в магистратуру по  
направлению  
18.04.01 Химическая технология*

*Магистерская программа  
«Инжиниринг мембранного разделения»*

Москва 2024

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

Программа вступительных испытаний предназначена для лиц, желающих поступить в магистратуру ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева» по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология (магистерская программа: «Химия и технология биологически активных веществ»). Программа разработана в соответствии с Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденным приказом Министерства образования и науки РФ от 6 апреля 2021 года № 245. Программа рекомендуется для подготовки к вступительным испытаниям выпускников бакалавриата и специалитета классических университетов, технических и технологических вузов. Содержание программы базируется на следующих учебных дисциплинах: «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», «Баромембранные процессы», «Диффузионные мембранные процессы», «Электромембранные процессы», «Сопряженные мембранные процессы» и других специальных учебных дисциплинах, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева в рамках направления подготовки 18.03.01 Химическая технология.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ**

### **1. «Баромембранные процессы»**

#### **Введение**

Классификация баромембранных процессов и их краткая характеристика, сферы применения. Сопоставление мембранных процессов с другими методами разделения жидких смесей. Движущая сила. Области применения.

#### **Теоретические основы баромембранных процессов**

Механизм разделения. Роль конвективно-фильтрационной, электростатической и диффузионной компоненты в общем механизме переноса веществ через мембрану для каждого баромембранного процесса. Связанная вода на поверхности и в порах мембраны, явления гидратации в растворах электролитов.

#### **Соппротивление массопереносу**

Концентрационная поляризация со стороны разделяемого раствора как основное внешнее диффузионное сопротивление. Ее влияние на характеристики разделения в баромембранных процессах.

#### **Аппаратура для баромембранных процессов**

Основные типы конструкций аппаратов с плоскими, трубчатыми, рулонными и волоконными фильтрующими элементами. Их устройство и работа, достоинства и недостатки. Выбор оптимального типа конструкции мембранного аппарата в соответствии с задачей разделения.

## **Технологический расчет аппаратов и установок**

Последовательность расчета установок для основного варианта проведения микро-, ультра-, нанофильтрации и обратного осмоса.

Секционирование баромембранных аппаратов в промышленных установках большой производительности. Расчет двухступенчатых схем и установок. Расчет баромембранных схем и установок для вариантов диафильтрации и фракционирования растворенных веществ.

## **2. «Диффузионные мембранные процессы»**

### **Введение**

Классификация диффузионных мембранных процессов, сферы применения, движущая сила, уравнения переноса

### **Основные закономерности диффузионных мембранных процессов**

Механизм диффузии и количественное описание; механизм и элементарные стадии массопереноса (проницания) компонентов через мембрану.

Особенности переноса через непористые мембраны: влияние температуры и давления на проницаемость (диффузию и сорбцию).

Диффузионное разделение газов. Общая характеристика процесса. Области применения. Движущая сила. Применяемые мембраны.

Массоперенос в пористых мембранах

### **Классификации мембран и требования к мембранам**

Методы расчета мембранных аппаратов и установок

Принципы расчета аппаратов для осуществления диффузионных мембранных процессов, их отличие от баромембранных процессов.

Способы организации потоков в модулях.

### **Промышленное применение диффузионных мембранных процессов**

Выбор промышленных аппаратов, технологические параметры и схема процесса, технико-экономические параметры установок.

## **3. «Сопряженные мембранные процессы»**

### **Первапорация (испарение через мембрану)**

Терминология. История развития. Общие принципы разработки. 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.

### **Мембранная дистилляция**

Терминология. История развития. 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); поверхностно-активные вещества. Методы исследования и расчета, примеры практического применения и их анализ, технико-экономические показатели.

### **Мембранный биореактор**

Терминология. Способы реализации. Динамика развития и существующее положение. Принцип работы. Мембранные материалы и их свойства. Технологические аспекты: снижение влияния концентрационной поляризации; промывка/очистка и химическая регенерация мембран; режимы/регламенты работы; способы оптимизации. Примеры технологических схем, их анализ и расчет.

### **Мембранные контакторы**

Терминология. История развития. Оксигенаторы крови. Мембранные оксигенаторы: текущее состояние и перспективы. Мембранные контакторы: газ-жидкость; жидкость/жидкость; с изменением фаз. Примеры технологических схем, их анализ и расчет.

### **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, технико-экономические аспекты.

## ***Примерное содержание вопросов по программе «Инжиниринг мембранного разделения»***

1. Механизм диффузионных мембранных процессов. Статистический, термодинамический и феноменологический подходы к описанию диффузионного переноса. Вывести уравнение для расчета коэффициентов диффузии.
2. Основные стадии трансмембранного переноса в диффузионных мембранных процессах. Коэффициенты растворимости, диффузии и проницаемости, их размерность.
3. Механизм массопереноса и влияние температуры и давления на проницаемость и селективность разделения непористых газоразделительных мембран.
4. Механизм массопереноса и влияние температуры и давления на проницаемость и селективность разделения пористых газоразделительных мембран.
5. Модель “двойной сорбции” при диффузионном переносе через полимерные мембраны. Основные положения модели.
6. Диффузионный перенос газов через полимерные мембраны; теория “свободного объема”; модель “активированных скачков”.

7. Разработайте (приведите) с обоснованием технологическую схему разделения воздуха для получения из него высококонцентрированного по азоту газового потока.
8. Первапорация. Терминология. Допущения модели растворение-диффузия
9. Мембранная дистилляция Терминология. Варианты реализации, мембранные материалы и способы их получения.
10. Мембранные контакторы Определение, типы контакторов по агрегатному состоянию фаз с примерами. Оксигенаторы крови. Мембранная абсорбция/десорбция.
11. Мембранные биореакторы Основные определения, схема очистки сточных вод активным илом. Активный ил.
12. Топливные элементы Терминология и классификация. Топливный элемент с протонообменной мембраной, устройство.
13. Первапорация Задачи и типы разделения первапорации. Гидрофильная первапорация: дегидратация спиртов.
14. Первапорация Задачи и типы разделения первапорации. Гидрофобная первапорация: производство «биоспиртов».
15. Первапорация Задачи и типы разделения первапорации. Органофильная первапорация: метанол/МТБЭ
16. Механизм разделения в обратном осмосе. Расчет истинной селективности разделения. Влияние основных технологических параметров на селективность разделения и удельную производительность процесса.
17. Механизм разделения в нанофильтрации. Понятие точки нулевого заряда и изоэлектрической точки. Влияние основных технологических параметров – температуры, давления, величины рН раствора, природы раствора – на основные характеристики процесса нанофильтрации.
18. Механизм разделения в микро- и ультрафильтрации. Основные характеристики микро- и ультрафильтрационных мембран и методы их определения.
19. Влияние концентрации растворенного вещества на удельную производительность и селективность разделения ацетатцеллюлозных мембран при обратноосмотическом разделении растворов электролитов.
20. Влияние рабочей температуры на удельную производительность и селективность разделения обратноосмотических мембран.
21. Влияние рабочего давления на удельную производительность и селективность разделения обратноосмотических мембран.
22. Концентрационная поляризация в обратном осмосе. Её влияние на селективность и удельную производительность. Способы снижения КП.
23. Основные типы конструкций мембранных модулей для разделения жидких смесей. Их достоинства и недостатки. Принцип выбора типов конструкций.
24. Сопоставьте основные типы аппаратов для обратного осмоса по удельной поверхности мембран и по величине гидравлического сопротивления напорного и дренажного каналов. Ответ дайте с

необходимыми пояснениями.

25. Приведите подробное описание классификации установок мембранного разделения жидких смесей, дав необходимые пояснения и схемы установок, где это необходимо.

26. Дайте подробное описание способов очистки мембран от загрязнений. Проведите их сопоставление, опишите достоинства и недостатки. Изобразите и опишите работу схемы химического метода очистки.

27. Последовательность расчета одноступенчатой мембранной установки. Основные этапы и принципы.

28. Секционирование обратноосмотических аппаратов в установке. Достоинства и недостатки. Последовательность операции секционирования.

29. Представьте (с обоснованием) технологическую схему опреснения морской воды. Стадии и условия проведения процесса. Основное и вспомогательное оборудование, его выбор.

30. Опишите достоинства и недостатки обратного осмоса как метода разделения растворов. Поясните, почему часто необходимо сочетание обратного осмоса с выпариванием и ионным обменом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дытнерский Ю. И., Брыков В. П., Каграманов Г. Г. Мембранные процессы разделения жидких смесей -М., Химия, 1991. - 272 с.

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

3. Дибров Г. А. Первапорация: учебное пособие. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018. - 52 с.

4. Каграманов Г. Г. Диффузионные мембранные процессы. Теоретические основы: учебное пособие. - М.: РХТУ. Издат. центр, 2007. - 43 с.

5. Каграманов Г. Г. Диффузионные мембранные процессы. Мембранное разделение газов: учебное пособие. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2009. - 138 с.

6. Каграманов Г. Г., Фарносова Е.Н. Диффузионные мембранные процессы. Диализ : учебные пособия. - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. - 112 с.