

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

**ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ**



**А.Г. Шлейкин, Н.Е. Панова**

# **МЕМБРАННЫЕ ПРОЦЕССЫ В БИОТЕХНОЛОГИИ**

**Учебно-методическое пособие**



**Санкт-Петербург  
2013**

УДК 66.064

**Шлейкин А.Г., Панова Н.Е.** Мембранные процессы в биотехнологии: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 49 с.

Представлены рабочая программа, методические указания и задания для итогового контроля знаний по разделу «Мембранные процессы в биотехнологии» дисциплины «Общая химическая технология и мембранные процессы в биотехнологии».

Пособие предназначено для самостоятельной работы студентов всех форм обучения направления 260100 Продукты питания из растительного сырья.

**Рецензент: доктор техн. наук, проф. А.Л. Ишевский**

**Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом Института холода и биотехнологий**



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2013

© Шлейкин А.Г., Панова Н.Е., 2013

## ВВЕДЕНИЕ

Процессы разделения жидких и газообразных систем играют важную роль во многих отраслях народного хозяйства и прежде всего в различных направлениях биотехнологии. Наиболее универсальным методом разделения является разделение с использованием полупроницаемых мембран (мембранный процесс). В пищевой биотехнологии мембранные процессы применяются для концентрирования фруктовых и овощных соков, молока, получения высококачественного сахара, в виноделии и т. п. Всё более широкое применение мембранные процессы находят при обработке воды и водных растворов, при выделении биогенных веществ из сырья растительного и животного происхождения, при очистке сточных вод.

Цель преподавания данного раздела дисциплины – научить студентов сущности мембранных процессов, физико-химическим основам мембранной технологии разделения жидких и газообразных систем, применению мембранных технологий в различных направлениях биотехнологии, в том числе в производстве продуктов питания, грамотному подходу к выбору типа мембранных процессов для решения конкретных технологических задач и выбору мембран, а также методике расчета основных параметров процесса.

Студенты, изучившие данный раздел, должны:

**знать:**

- механизмы мембранных процессов разделения компонентов различных систем;
- типы мембран, их характеристики;
- виды и особенности мембранных материалов;
- термодинамику и кинетику мембранных процессов;
- влияние различных факторов на процессы разделения;
- особенности использования мембран, их достоинства и недостатки;
- возможные области применения мембранных процессов;

**уметь:**

- выбрать необходимый мембранный процесс для решения конкретных задач в биотехнологии;
- подобрать вид мембраны;
- найти, какой из мембранных материалов подходит для данной мембраны;

- рассчитать основные параметры мембранных процессов;
- составить представления об экономической эффективности применения мембранных процессов в различных отраслях промышленности.

Преподавание раздела дисциплины «Мембранные процессы в биотехнологии» базируется на химико-технологической подготовке студентов, обеспечиваемой предшествующими курсами общей, аналитической, органической, физической и коллоидной химии, биологической химии, процессов и аппаратов пищевой технологии, физики, математики.

Данный курс будет использован при дальнейшем изучении специальных дисциплин по пищевой биотехнологии, а также при выполнении дипломного проектирования.

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Тема 1. Введение**

Общая характеристика процессов разделения жидких и газообразных систем. Разделение систем с использованием полупроницаемых мембран. Области применения мембранных процессов. Экономические аспекты применения мембранных процессов. Перспективы промышленного использования мембран в биотехнологиях. Основные понятия и определения мембранных процессов. Классификация мембранных процессов: микрофильтрация, ультрафильтрация, осмос, обратный осмос, диализ, электродиализ. Процессы с биологическими и ионоселективными мембранами. Сущность нанофильтрации.

### **Тема 2. Мембранные материалы и их характеристики**

Общая характеристика мембранных материалов. Полимеры, гибкость цепи, физическое состояние полимера, термическая и химическая стабильность, механические свойства. Эластомеры. Полиэлектролиты. Смеси полимеров. Мембранные полимеры: пористые и непористые мембраны. Неорганические мембраны и их свойства. Биологические мембраны. Промышленное оформление мембранных аппаратов.

### **Тема 3. Основы термодинамики мембранных процессов**

Распределение концентраций и химических потенциалов в сечении мембранного элемента. Движущие силы мембранных процессов. Неравновесная термодинамика мембранных процессов. Транспорт веществ через пористые мембраны. Транспорт через непористые (плотные) мембраны. Определение коэффициентов диффузии. Концентрационно-зависимые системы. Особенности транспорта в ионообменных мембранах.

### **Тема 4. Основы кинетики мембранных процессов**

Факторы, влияющие на кинетику процесса и полноту разделения мембранных процессов. Рабочее давление и его влияние на селективность мембран. Влияние температуры и концентрации растворенных веществ на кинетику мембранного процесса. Особенности мембранных процессов при наложении электрического и магнитного полей. Акустические колебания. Зависимость проницаемости и селективности мембран от природы и состава растворенных веществ, рН среды.

### **Тема 5. Баромембранные процессы**

Микрофльтрация. Объекты разделения, рабочее давление. Мембраны для микрофльтрации. Схемы процессов микрофльтрации. Гидрофобность материалов. Забивание мембран. Промышленное применение микрофльтрации. Стерилизация и осветление напитков, фруктовых соков, вин, пива. Обработка сточных вод. Применение микрофльтрации в биотехнологии. Разделение эмульсий масло-вода. Основы электрофльтрации.

Ультрафльтрация. Объекты разделения эмульсии, растворы электролитов, разделение коллоидных растворов и тонких суспензий. Влияние различных факторов на эффективность процесса. Комплексообразование как один из методов подготовки растворов к процессу ультрафльтрации. Мембраны для ультрафльтрации. Применение ультрафльтрационных мембран. Обработка молока, сыворотки. Извлечение крахмала и белков в пищевой промышленности. Концентрирование соков, улучшение вкусовых качеств продуктов питания.

Обратный осмос. Явление осмоса, осмотическое давление. Особенности разделения растворов электролитов и растворов органических веществ. Механизм обратного осмоса. Разделение полимерными и динамическими мембранами. Применение обратного осмоса. Обессоливание воды. Концентрирование пищевых соков, сахара, молока. Осмотическая машина.

## **Тема 6. Мембранное разделение газов**

Термодинамический анализ разделения газовых смесей в мембранном модуле. Потери энергии при селективной проницаемости. Газоразделение в пористых мембранах. Газоразделение с помощью непористых мембран. Коэффициент проницаемости. Скорость диффузии и природа полимеров. Газоразделительные мембраны. Области применения. Регулирование состава газовой среды при хранении сельскохозяйственной продукции и консервировании пищевых продуктов.

## **Тема 7. Электромембранные процессы**

Электродиализ. Движущая сила электромембранных процессов. Параметры процесса. Мембраны для электродиализа. Области применения: разделение аминокислот, очистка растворов электролитов. Поляризационные явления и отложения на поверхности мембран. Способы борьбы с забиванием мембран.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Изучение мембранных процессов в пищевой технологии на заочном факультете предусматривает самостоятельную работу, а также аудиторные занятия во время экзаменационной сессии на кафедре органической, физической и биологической химии, где студенты должны прослушать курс лекций и выполнить лабораторные работы.

Самостоятельная работа заключается в изучении теоретической части дисциплины в соответствии с изложенной выше рабочей программой и выполнении контрольной работы, состоящей из трех вопросов.

Контрольная работа должна быть выполнена в тонкой ученической тетради с полями для замечаний преподавателя и содержать краткие, конкретные ответы на поставленные вопросы, а также необходимые схемы процессов, рисунки важнейших видов мембран. Текст следует изложить четким, разборчивым почерком без помарок и исправлений и сдать не позднее чем за 10 дней до зачета.

Работа должна быть подписана студентом и содержать полный список используемой литературы, в том числе не включенной в рекомендуемый список. Номер варианта контрольной работы определяется последними цифрами зачетной книжки.

В соответствии с Государственным стандартом программа данной дисциплины содержит введение в мембранные технологии. В ней отражены вопросы, касающиеся роли мембранных процессов в производстве различных веществ народно-хозяйственного и медицинского назначения, а также экономической эффективности и перспективности дальнейшего развития отрасли.

При изучении дисциплины следует обратить внимание на особенность протекания мембранных процессов, используемых в промышленности для производства различных веществ и особенно в производстве продуктов питания.

В программу введены основные мембранные процессы, которые наиболее широко используются в пищевой промышленности. К их числу относятся баромембранные процессы, включающие в себя микрофильтрацию, ультрафильтрацию, обратный осмос.

Поскольку мембраны являются неотъемлемой частью живых организмов на Земле, в программу включены вопросы создания аналогов биологических мембран, используемых в микрокапсулировании ферментов и других биологически активных веществ, применяющихся в медицинской и пищевой биотехнологиях.

Различные мембранные процессы требуют определенных по структуре и морфологии мембран, различающихся проницаемостью, селективностью и производительностью.

В программе содержатся две классификации мембран: *по структуре*, включающей в себя деление на пористые и непористые, симметричные и асимметричные, а также композиционные мембраны, и *по видам* используемых мембранных материалов. Рассматриваются

характеристики и свойства различных мембранных материалов, как органических, так и неорганических.

Мембранные процессы протекают под действием движущих сил, важнейшими из которых являются градиент давления, градиент концентрации, градиент потенциала, градиент температуры, поэтому в данном курсе рассматриваются термодинамика и кинетика транспорта веществ через мембраны.

В биотехнологиях чаще всего используются такие процессы, как баромембранные, микрофльтрация, ультрафльтрация и обратный осмос, поэтому в данном курсе они рассматриваются более подробно. Изучаются возможности промышленного применения этих процессов при стерилизации и осветлении напитков, соков, вин, пива, разделении эмульсий, обработке молока, сыворотки, извлечении крахмала и белков, концентрировании сахара, молока, а также для улучшения вкусовых качества продуктов питания.

Важнейшими вопросами промышленности являются сохранение сельскохозяйственной продукции и консервирование пищевых продуктов, поэтому в программу данной дисциплины включен раздел мембранного разделения газов, который позволяет регулировать состав газовой среды, создавая необходимую смесь газов для предотвращения ухудшения качества продуктов питания.

Для очистки сточных вод применяются электромембранные процессы, поэтому в данной программе рассматриваются параметры электролиза, поляризационные явления и отложение загрязнений на поверхности мембран, а также борьба с этими явлениями.

Наиболее характерными чертами современных мембранных технологий являются низкие энергетические затраты и внедрение последних достижений науки в разработку способов промышленного изготовления мембран и мембранных материалов, что делает эти процессы рентабельными и экономически эффективными. При изучении данного курса студенты знакомятся с перспективными разработками баромембранных процессов.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Варианты контрольных заданий студенты выбирают в зависимости от последних двух цифр номера своей зачетной книжки (шифра) по таблице.

№ варианта	Последние цифры шифра	№ варианта	Последние цифры шифра
1	01, 31, 61, 91	16	16, 46, 76
2	02, 32, 62, 92	17	17, 47, 77
3	03, 33, 63, 93	18	18, 48, 78
4	04, 34, 64, 94	19	19, 49, 79
5	05, 35, 65, 95	20	20, 50, 80
6	06, 36, 66, 96	21	21, 51, 81
7	07, 37, 67, 97	22	22, 52, 82
8	08, 38, 68, 98	23	23, 53, 83
9	09, 39, 69, 99	24	24, 54, 84
10	10, 40, 70, 00	25	25, 55, 85
11	11, 41, 71	26	26, 56, 86
12	12, 42, 72	27	27, 57, 87
13	13, 43, 73	28	28, 58, 88
14	14, 44, 74	29	29, 59, 89
15	15, 45, 75	30	30, 60, 90

### Вариант 1

1. Мембранные процессы как научное направление и новая технология производства продуктов питания.

2. Определение и свойства эластомеров.

3. В модуль, работающий в режиме идеального смешения, подается со скоростью  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$  поток с концентрацией  $10 \text{ г/л}$ . В пермеате концентрация составляет  $1 \text{ г/л}$ , а поток равен  $4 \text{ м}^3/\text{ч}$ , в ретентате концентрация и поток равны соответственно  $46 \text{ г/л}$  и  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Рассчитайте задержание, степень извлечения и снижение объема.

### Вариант 2

1. Связь мембранной технологии с другими технологическими процессами.

2. Определение и свойства полиэлектролитов.

3. Фермер, выращивающий капусту брокколи, хочет получать воду для полива при обратноосмотической обработке солоноватых вод в одноступенчатом модуле. В исходной воде содержится  $3000 \text{ млн}^{-1}$  NaCl, а требуется получить воду с содержанием соли не выше  $200 \text{ млн}^{-1}$ . Необходимая производительность установки  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Задержание и поток равны, соответственно, 90 % и 480 л/ч. Давление 28 бар. Рассчитайте одноступенчатую установку с минимальной поверхностью мембраны, позволяющую достичь степень извлечения 75 %, а максимально допустимое давление 42 бар.

### Вариант 3

1. Этапы развития мембранной технологии.

2. Факторы, влияющие на протекание мембранных процессов.

3. В 100 л водного раствора ( $V_0$ ) содержится 1 массовых % NaCl и 1 массовых % альбумина. Для очистки белка необходимо полное разделение соли и белка. Рассчитайте объем воды ( $V_w$ ), необходимый для снижения концентрации соли до 0,01 массовых % с использованием мембраны, имеющей задержание по белку 100 % и по соли 5 % в процессе диафильтрации.

### Вариант 4

1. Промышленное и социальное значение мембранной технологии.

2. Определение коэффициентов диффузии в мембранных процессах.

3. Для обессоливания морской воды с содержанием соли 3,5 массовых % используется одноступенчатый процесс обратного осмоса. Используемая композиционная мембрана имеет задержание по соли 99,3 % и проницаемость по чистой воде  $1500 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$  при перепаде давления 25 бар. В процессе же приложено давление 55 бар, температура 25 °C. При расчете осмотического давления можно использовать уравнение Вант-Гоффа. Доля прошедшего через мембрану потока равна 0,3. Рассчитайте поверхность мембраны для установки производительностью  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### Вариант 5

1. Роль мембранной технологии в пищевой промышленности.
2. Особенности транспорта в ионообменных мембранах.
3. Сыворотка – это побочный продукт сыроделия. Она содержит около 6 % всех растворенных твердых компонентов, из которых основными компонентами являются лактоза, белки и соли. Предложите комбинированный мембранный процесс для разделения указанных компонентов, нарисуйте схему.

### Вариант 6

1. Экономическая эффективность мембранной технологии.
2. Влияние давления на селективность мембран.
3. Имеются две мембраны неизвестного типа А и В. Для установления природы этих мембран решено измерить поток чистой воды через мембраны в ячейке с рабочей поверхностью 50 см<sup>2</sup> при давлении над мембраной 3 бар и температуре 20 °С. Для мембраны А было собрано 12 мл воды за 80 мин, тогда как для В – за 30 мин. Удалось собрать 125 мл воды. Определите коэффициент проницаемости по отношению к воде обеих мембран и укажите, можно ли отнести мембраны А и В к обратноосмотическим, нанофильтрационным, ультрафильтрационным или микрофильтрационным.

### Вариант 7

1. Особенности современной мембранной технологии.
2. Особенности мембранных процессов при наложении электрического и магнитного полей.
3. Ниже приведены паспортные данные для ядерного фильтра (трековой мембраны)

Диаметр пор, мкм	Концентрация пор, число пор/см <sup>2</sup>
5,0	$5,0 \cdot 10^5$
1,0	$1,3 \cdot 10^7$
0,2	$3,2 \cdot 10^8$
0,05	$4,0 \cdot 10^9$

Рассчитайте пористость и проницаемость по воде при давлении 1 бар.

## Вариант 8

1. Общая характеристика процессов разделения жидких и газообразных систем.
2. Влияние акустических колебаний на мембранные процессы.
3. Воздух (содержание кислорода 20 % и азота 80 %) подвергают мембранному разделению. Получен пермеат с концентрацией кислорода 75 %. Рассчитайте задержание  $R$  и фактор разделения  $\alpha$ . Поясните, какая из этих двух характеристик наиболее удобна для описания данного процесса.

## Вариант 9

1. Разделение систем с использованием полупроницаемой перегородки.
2. Схема процесса микрофльтрации.
3. Сырьевой поток в процессе обратного осмоса содержит 3 мас. % растворенных веществ. Их концентрация в пермеате составляет 150 частей на миллион ( $\text{млн}^{-1}$ ). Рассчитайте задержание  $R$  и фактор разделения  $\alpha$ . Поясните, какой из этих двух параметров больше подходит для характеристики данного процесса.

## Вариант 10

1. Основные понятия и определения мембранных процессов.
2. Микрофльтрация. Характеристика процесса. Объекты разделения, рабочее давление, применяемые мембраны и их характеристики.
3. Поток чистого метанола через полиамидную ультрафильтрационную мембрану составляет  $120 \text{ л/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{бар}$  при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Рассчитайте поток толуола через эту же мембрану. Какие при этом придется сделать предположения? Вязкость метанола и толуола составляет  $1,13 \cdot 10^{-3}$  и  $1,58 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  соответственно.

## Вариант 11

1. Классификация мембранных процессов по характеру движущей силы.
2. Промышленное применение микрофльтрации.
3. Коэффициент проницаемости мембран для воды  $\alpha_p$  (гидравлический коэффициент) может быть определен в простом эксперименте. Пусть для некоторой мембраны  $\alpha_p = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{бар}$ . Мембрана имеет коэффициент задержания по  $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 99,8\%$  и по  $\text{NaCl} = 95\%$  при 40 бар и концентрации соли  $1000 \text{ млн}^{-1}$ . Рассчитайте коэффициенты проницаемости для обеих солей.

## Вариант 12

1. Общая характеристика мембранных материалов.
2. Схема процесса ультрафльтрации.
3. Купрофановая диализная мембрана разделяет ячейку на две части, каждая объемом 100 мл. Левое отделение содержит раствор полиакрилата натрия с концентрацией  $5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/кг}$  воды. Правая часть содержит раствор поваренной соли с концентрацией  $10^{-3} \text{ моль/кг}$  воды. Мембрана проницаема для ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , но не для отрицательно заряженных ионов полиэлектролита. Рассчитайте концентрацию ионов натрия и хлора в обеих частях ячейки в состоянии равновесия.

## Вариант 13

1. Классификация полимерных мембранных материалов по структуре.
2. Характеристика процессов ультрафльтрации. Объекты разделения ультрафльтрации.
3. Фактор извилистости микрофльтрационной мембраны толщиной 100 мкм часто бывает трудно определить. Один из способов сделать это состоит в заполнении пор водой и измерении потока углекислого газа в системе, где по одну сторону мембраны находится чистый углекислый газ, а по другую он отсутствует. Поток, измеренный при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , составляет  $1,56 \cdot 10^{-4} \text{ моль/м}^2\cdot\text{с}$ , а коэффициент диффузии углекислого газа в воде равен  $1,92 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$ . Рассчитайте фактор извилистости, если поверхностная пористость равна 30 %.

## Вариант 14

1. Полимерные материалы как важнейший класс мембранных материалов.

2. Влияние различных факторов на процессы ультрафильтрации.

3. В диффузионной ячейке были определены коэффициенты отражения наночистотационной мембраны по отношению к глюкозе (молярная масса 180), сахарозе (молярная масса 342) и маннозе (молярная масса 504). Одна половина ячейки более заполнена раствором сахара с концентрацией 18 г/л, другая – чистой водой. После эксперимента длительностью 45 мин был отмечен прирост объема в 1 % для глюкозы, 0,4 % для сахарозы и 0,56 % для маннозы. Для данной мембраны коэффициент проницаемости по воде  $\alpha_p = 10^{-5}$  г/с·бар·м<sup>2</sup>. Объем ячейки с раствором сахара 56 мл, а поверхность мембраны 13,2 см<sup>2</sup>. Рассчитайте коэффициент отражения для разных сахаров.

## Вариант 15

1. Структурные факторы, определяющие термические, химические и механические свойства полимеров как мембранных материалов.

2. Характеристики мембран для ультрафильтрации.

3. Обратнoосмотическая мембрана имеет задержание 95 % для очищаемого раствора с содержанием поваренной соли 0,5 % при 25 °С и давлении 15 бар. Коэффициент проницаемости по воде равен  $\alpha_p = 5 \cdot 10^{-5}$  г/см<sup>2</sup>·бар. Рассчитайте коэффициент задержания при 30 бар.

## Вариант 16

1. Неорганические материалы, используемые для приготовления мембран, их классификация и применение в мембранной технологии.

2. Комплексообразование как один из методов подготовки растворов к процессу ультрафильтрации.

3. Осветление фруктовых соков можно осуществлять с помощью процесса электролиза, в ходе которого происходит обмен цитрат-ионов на гидроксид-ионы; а) предложите схему процесса; б) рассчитайте поверхность мембраны и расход энергии, необходимые для снижения концентрации лимонной кислоты с 15 г/л до 7,5 г/л при производительности установки 500 л/ч (молярная масса цитрат-иона равна 300). При расчете используйте следующие параметры:  $E = 150$  В;  $i = 100$  А/м<sup>2</sup>, эффективность тока 0,8; среднее сопротивление в расчете на одну пару электродов 0,03 Ом.

### Вариант 17

1. Общая характеристика биологических мембран, возможности их моделирования в мембранной технологии.

2. Общая схема процессов обратного осмоса.

3. Необходимо получить в мембранном процессе воздух, содержащий 30 % кислорода. Каким должно быть давление пермеата, если в качестве сырья служит воздух с давлением 1 бар, содержанием кислорода 21 %, при этом ретентат имеет тот же состав, что и сырье? Селективность мембраны по паре кислород/азот составляет 2,2.

### Вариант 18

1. Классификация мембран по структуре и видам мембранных материалов.

2. Явление осмоса, осмотическое давление.

3. Вода с содержанием 0,5 % поваренной соли должна быть обработана для доведения этой концентрации до 0,03 %, производительность установки 25 м<sup>3</sup>/ч. Мембрана имеет задержание 97 % (задержание соли 5000 млн<sup>-1</sup> при перепаде давлений  $\Delta P = 15$  бар) и коэффициент проницаемости по воде 3 л/м<sup>2</sup>·ч·бар. Для одноступенчатой системы рассчитайте поверхность мембраны и расход энергии при давлении в процессе 15 бар.

### Вариант 19

1. Распределение концентраций и химических потенциалов в сечении мембранного элемента.
2. Особенности разделения растворов органических веществ.
3. Газоразделение на полых волокнах можно осуществлять при очень высоких давлениях до 100 атм. Возможны два варианта подачи сырья – внутрь волокон и в межволоконное пространство. Какую конфигурацию вы предпочитаете?

### Вариант 20

1. Неравновесная термодинамика мембранных процессов.
2. Механизм обратного осмоса.
3. В модуль, работающий в режиме идеального смешения, подается поток со скоростью  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$  и с концентрацией  $20 \text{ г/л}$ . В пермеате концентрация составляет  $2 \text{ г/л}$ , а скорость потока –  $8 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; в ретентате концентрация и скорость потока равны соответственно  $92 \text{ г/л}$  и  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Рассчитайте коэффициент задержания, селективность, степень извлечения и снижение объема.

### Вариант 21

1. Влияние температуры и концентрации растворенных веществ на кинетику и селективность мембранных процессов.
2. Разделение полимерными и динамическими мембранами.
3. Мембрана на основе ацетата целлюлозы имеет коэффициент проницаемости по воде  $\alpha_p = 10^{-5} \text{ г/см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{бар}$  и по растворенной в воде соли (NaCl)  $B = 4 \cdot 10^{-6} \text{ см/с}$ . В сырье содержится  $35 \text{ г/л NaCl}$ ; приложенное давление  $60 \text{ бар}$ . Вычислить поток воды, поток соли, коэффициент задержания и концентрацию соли в пермеате (плотность раствора равна  $1 \text{ г/мл}$ ).

### Вариант 22

1. Общая характеристика баромембранных процессов.
2. Осмотическая машина.

3. Керамические мембраны обладают амфотерным характером. Оксид циркония имеет изоэлектрическую точку при  $pH = 6,5$ . Ультрафильтрационные мембраны на основе оксида циркония обладают способностью удерживать сульфат-ионы. При каком значении  $pH$  (3 или 9) сульфат-ионы будут удерживаться лучше?

### Вариант 23

1. Факторы, влияющие на кинетику процесса и полноту разделения в мембранных процессах.
2. Газоразделение в пористых мембранах.
3. В электродиализной ячейке чередуются катионо- и анионообменные мембраны. Покажите устройство электродиализной ячейки с единственной парой мембран. На рисунке нужно пояснить направление транспорта катионов и показать графически изменение концентрации катионов и изменение электрического потенциала.

### Вариант 24

1. Зависимость проницаемости и селективности мембран от величины  $pH$  среды.
2. Газоразделение с помощью непористых мембран.
3. Осмотическая машина позволяет производить энергию при использовании осмотического потока  $O$ , вызванного различием осмотических давлений. Рассчитайте мощность, которую можно достичь, используя 3 %-й раствор поваренной соли при условии, что проницаемость мембраны  $0,36 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{бар}$  (предполагается, что в данном случае применим закон Вант-Гоффа) .

### Вариант 25

1. Транспорт веществ через пористые мембраны.
2. Потери энергии при селективной проницаемости.
3. В установках барометрического определения растворимости газов в полимерах используют схему с единственной емкостью или со вдвоенной емкостью. Поясните, какой вариант методики более точный.

### Вариант 26

1. Транспорт веществ через непористые мембраны.
2. Общая схема процесса электродиализа.
3. В процессе мембранной дистилляции используется пористая пропиленовая мембрана с коэффициентом проницаемости по воде  $4,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{бар}$ . Рассчитайте поток чистой воды для сырья с температурой  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Примите температуру в пермеате равной  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Вариант 27

1. Особенности транспорта в ионообменных мембранах.
2. Параметры процесса электродиализа, характеристики используемых мембран.
3. Удаление летучих органических соединений из воздуха является одним из приложений мембранной технологии. Сырье содержит  $0,5$  молярных % органических паров в воздухе, фактор разделения используемой мембраны  $200$ . Приведите общее уравнение для потока органического компонента.

### Вариант 28

1. Термодинамический анализ разделения газовых смесей в мембранном модуле.
2. Поляризационные явления и отложения на поверхности мембран при микрофльтрации. Способы борьбы с забиванием мембран.
3. Для некоторой мембраны с диаметром  $7,5 \text{ см}$  получена следующая зависимость от приложенного давления:

$\Delta P$ , бар	Поток, мл/ч
5	103
10	202
15	287
20	386

- а) Определите графически коэффициент проницаемости по воде.
- б) К какому типу относится данная мембрана?

## Вариант 29

1. Движущая сила электромембранных процессов.
2. Поляризационные явления и отложения на поверхности мембран при ультрафильтрации. Способы борьбы с забиванием мембран.
3. Вода с содержанием 0,5 % поваренной соли должна быть обработана для доведения концентрации до 0,03 %, производительность установки 25 м<sup>3</sup>/ч. Мембрана имеет задержание 97 % (содержание соли 5000 мг/л при перепаде давлений  $\Delta P = 15$  бар) и коэффициент проницаемости по воде 3 л/м<sup>2</sup>·ч·бар. Для одноступенчатой системы рассчитайте поверхность мембраны и расход электроэнергии для давления в процессе 30 бар.

## Вариант 30

1. Перспективы промышленного использования мембран в пищевых технологиях.
2. Поляризационные явления и отложения на поверхности мембран при электродиализе. Способы борьбы с забиванием мембран.
3. Необходимо получить в мембранном процессе воздух, содержащий 50 % кислорода. Каким должно быть давление пермеата, если в качестве сырья служит воздух с давлением 1 бар, содержанием кислорода 21 %, а ретентат имеет тот же состав, что и сырье? Селективность по паре кислород/азот составляет 2,2.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЧЁТА

1. Виды процессов разделения жидких и газообразных систем.
2. Разделение веществ с использованием полупроницаемых мембран.
3. Области применения мембранных процессов.
4. Использование мембран в биотехнологиях.
5. Виды мембран.
6. Мембранные материалы и их сравнительная характеристика.
7. Мембранные полимеры: пористые и непористые мембраны.
8. Неорганические мембраны и их свойства.
9. Классификация мембранных процессов.
10. Движущие силы мембранных процессов.
11. Неравновесная термодинамика мембранных процессов.
12. Транспорт веществ через пористые мембраны.
13. Транспорт веществ через плотные мембраны.
14. Коэффициент диффузии и его определение.
15. Особенности транспорта в ионообменных мембранах.
16. Кинетика мембранных процессов и факторы, влияющие на неё.
17. Влияние рабочего давления на селективность мембран.
18. Влияние температуры на кинетику мембранного процесса.
19. Влияние концентрации растворённых веществ на процесс разделения.
20. Зависимость проницаемости и селективности мембран от pH среды.
21. Баромембранные процессы. Их характеристика и применение.
22. Микрофльтрация и её применение в промышленности.
23. Основы электрофльтрации.
24. Ультрафльтрация и её применение в пищевой биотехнологии.
25. Обратный осмос. Механизм и применение в обессоливании.
26. Разделение газовых смесей в мембранном модуле.
27. Газоразделительные мембраны и области их применения.
28. Регулирование состава газовой среды при хранении и консервировании сельскохозяйственной продукции.
29. Электродиализ. Движущая сила электромембранных процессов.
30. Области применения электродиализа.

## ТЕСТЫ

Тестирование проводится после окончания изучения дисциплины. Каждое тестовое задание содержит 4 варианта ответа, из которых один является верным. Выполняя задание, сравните полученный ответ с предложенными и укажите правильный.

При выполнении заданий нельзя пользоваться источниками информации. Каждый правильный ответ оценивается одним баллом. Оценка выставляется в зависимости от количества правильных ответов.

Количество правильных ответов	Оценка за выполненный тест
0–11	Неудовлетворительно (2)
12–15	Удовлетворительно (3)
16–19	Хорошо (4)
20–25	Отлично (5)

### Тема 1. Введение

1. Какая из следующих задач не является задачей разделения газовых и жидких смесей?

- а) Концентрирование.
- б) Очистка.
- в) Концентрационная поляризация.
- г) Фракционирование.

2. Какое преимущество является основным в мембранных технологиях?

- а) Масштабирование.
- б) Легкое сочетание с другими процессами разделения.
- в) Разделение происходит непрерывно.
- г) Низкие энергетические затраты.

3. Что является главным недостатком мембранных технологий?

- а) Мягкие условия разделения.
- б) Концентрационная поляризация.
- в) Короткое время жизни мембраны.
- г) Отложение осадков на поверхности мембран.

4. Поток, поступающий в мембранный модуль, называется:

- а) сырье;
- б) пенетрант;
- в) ретентат;
- г) пермеат.

5. Поток, прошедший через мембрану, называется:

- а) ретентат;
- б) сырьё;
- в) пенетрант;
- г) пермеат.

6. Поток, не прошедший через мембрану, называется:

- а) пермеат;
- б) ретентат;
- в) сырьё;
- г) пенетрант.

7. К первому поколению мембранных процессов не относится:

- а) обратный осмос;
- б) диализ;
- в) ультрафильтрация;
- г) газоразделение.

8. Ко второму поколению мембранных процессов не относится:

- а) первапорация;
- б) мембранная дистилляция;
- в) электродиализ;
- г) термоосмос.

9. Какая из пар фаз не разделяется мембранами?

- а) Твердая–твердая.
- б) Жидкая–жидкая.
- в) Жидкая–газ.
- г) Газ–газ.

10. В процессе нанофильтрации через мембрану не пропускаются частицы и молекулы размером:

- а)  $> 2$  нм;
- б)  $> 1$  нм;
- в)  $> 0,1$  нм;
- г)  $< 5$  нм.

11. Из конкурирующих процессов обессоливания морской воды какой является наиболее выгодным?

- а) Электродиализ.
- б) Мембранная дистилляция.
- в) Выпаривание.
- г) Обратный осмос.

12. Производители мембран не указывают на готовой продукции:

- а) размер пор;
- б) распределение пор по размерам;
- в) отсечение;
- г) прогноз работы мембран в данном процессе разделения.

## **Тема 2. Мембранные материалы и их характеристики**

13. Важнейшим классом мембранных материалов является:

- а) керамика;
- б) стекло;
- в) металлы;
- г) полимеры.

14. На свободу вращения цепей в полимерах не влияет:

- а) наличие боковых групп;
- б) наличие ароматических групп;
- в) наличие фенольных групп;
- г) наличие атома водорода.

15. Полисилоксаны – силиконовые каучуки содержат в своей цепи атомы:

- а) углерода;
- б) серы;
- в) кремния;
- г) азота.

16. Полимеры – полифосфазены содержат в своей основной цепи атомы:

- а) углерода;
- б) фосфора;
- в) кремния;
- г) серы.

17. Химическая и термическая стабильность аморфных стеклообразных полимеров определяется:

- а) температурой стеклования;
- б) температурой плавления;
- в) температурой кипения;
- г) температурой замерзания.

18. Химическая и термическая стабильность кристаллических полимеров определяется:

- а) температурой замерзания;
- б) температурой кипения;
- в) температурой плавления;
- г) температурой стеклования.

19. Эластомеры – это класс полимеров, у которых температура стеклования:

- а)  $T_{ст} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- б)  $T_{ст} > 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- в)  $T_{ст} < 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- г)  $T_{ст} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

20. Эластомер при переходе через температуру стеклования:

- а) переходит в аморфное стеклообразное состояние;
- б) переходит в высокоэластическое состояние;

- в) остаётся неизменным до температуры плавления;
- г) переходит в газообразное состояние.

21. Синтетические мембраны не могут быть:

- а) твердыми полимерными;
- б) жидкими полимерными;
- в) газообразными полимерными;
- г) твердыми неорганическими.

22. Полиэлектролитами называются полимеры:

- а) имеющие пористую структуру;
- б) имеющие ионогенные группы;
- в) имеющие в основной цепи вместо углерода другие элементы;
- г) имеющие частично-кристаллическую структуру.

23. Что происходит с кристаллическими полимерами при переходе через температуру стеклования?

- а) Переходит в высокоэластическое состояние.
- б) Переходит в аморфное стеклообразное состояние.
- в) Остаётся неизменным до температуры плавления.
- г) Становится газообразным.

24. Неорганические мембраны стабильны до температуры:

- а) 200 °С;
- б) 400 °С;
- в) 800 °С;
- г) 600 °С.

25. Полимерные мембраны стабильны до температуры:

- а) 500 °С;
- б) 300 °С;
- в) 650 °С;
- г) 800 °С.

26. Принцип разделения пористыми мембранами:

- а) ситовый механизм;
- б) растворение–диффузия;
- в) сорбция–десорбция;
- г) диффузия.

27. Принцип разделения непористыми мембранами:

- а) сорбция–десорбция;
- б) кнудсеновский поток;
- в) растворение–диффузия;
- г) ситовый механизм.

28. Основным недостатком органических мембран является:

- а) высокая химическая стойкость;
- б) высокая механическая устойчивость;
- в) устойчивость в широком диапазоне рН;
- г) хрупкость.

29. Проницаемость более высокая:

- а) у аморфных полимеров;
- б) высокоэластических полимеров;
- в) кристаллических полимеров;
- г) стеклообразных полимеров.

30. Селективность более высокая:

- а) у стеклообразных аморфных полимеров;
- б) частично-кристаллических полимеров;
- в) кристаллических полимеров;
- г) высокоэластических полимеров.

31. Введение каких групп в основную цепь полимера делает его более химически и термически устойчивым:

- а) атома кислорода;
- б) атома водорода;
- в) атома  $-CH_3$ ;
- г) ароматических и гетероциклических групп.

32. Неорганическими полимерами являются:

- а) полиимиды;
- б) полиамиды;
- в) полисилоксаны;
- г) полиэферы.

33. Неорганическими полимерами являются:

- а) полиимиды;
- б) полифосфазены;
- в) полиэфиры;
- г) полиамиды.

34. Какие материалы не являются мембранными:

- а) металлические;
- б) стеклянные;
- в) деревянные;
- г) керамические.

35. Мембраны не могут быть:

- а) пористыми;
- б) газообразными;
- в) непористыми;
- г) жидкими.

36. Поток, прошедший через пористые мембраны, полученные методом травления ядерных треков, описывается уравнением:

- а) Кирхгофа;
- б) Козени–Кармана;
- в) Менделеева–Клапейрона;
- г) Хагена–Пуазейля.

37. Поток, прошедший через пористые мембраны, полученные методом спекания, описывается уравнением:

- а) Хагена–Пуазейля;
- б) Менделеева–Клапейрона;
- в) Козени–Кармана;
- г) Гиббса.

38. Уравнение Хагена–Пуазейля:

а) 
$$I_v = \frac{8\epsilon r^2 l \Delta P}{\eta \nu c};$$

$$\text{б) } I_v = \frac{\varepsilon r^2 \Delta P}{8\eta v l};$$

$$\text{в) } I_v = \frac{S_m r^2 l v}{8\eta l};$$

$$\text{г) } I_v = \frac{S_m \pi l h}{\varepsilon r^2 h_p \Delta P}.$$

39. Уравнение Козени–Кармана:

$$\text{а) } I_v = \frac{\varepsilon^3}{k\eta S_m^2 \left( -\varepsilon \right) l} \Delta P;$$

$$\text{б) } I_v = \frac{\varepsilon^2 k S_m^2 l}{\eta v \left( -\varepsilon \right) \Delta P};$$

$$\text{в) } I_v = \frac{\left( -\varepsilon \right) S_m \Delta P}{\varepsilon \eta l v};$$

$$\text{г) } I_v = \frac{\varepsilon^4 \eta l \Delta P}{v S_m^2 \left( -\varepsilon \right)}.$$

40. Какой из методов определения характеристик микрофильтрационных мембран является основным?

- а) Точка пузырька.
- б) Ртутная порометрия.
- в) Проницаемость газов.
- г) Сканирующая электронная микроскопия.

41. Какой из методов определения ультрафильтрационных мембран является основным?

- а) Сорбция–десорбция газов.
- б) Просвечивающая электронная микроскопия.
- в) Термопорометрия.
- г) Пермопорометрия.

42. Основным показателем селективности мембраны для водных растворов является:

- а) фактор разделения  $\alpha$ ;
- б) коэффициент задержания;
- в) извлечение в пермеат;
- г) извлечение в ретентат.

43. Основным показателем селективности мембраны для газовых и органических смесей является:

- а) извлечение в ретентат;
- б) коэффициент задержания;
- в) извлечение в пермеат;
- г) фактор разделения  $\alpha$ .

44. Коэффициент задержания определяется по формуле:

- а)  $K_{\text{задерж}} = 1 - C_f/C_r$ ;
- б)  $K_{\text{задерж}} = 1 - C_p/C_f$ ;
- в)  $K_{\text{задерж}} = C_f - C_r/C_p$ ;
- г)  $K_{\text{задерж}} = 1 - C_r/C_p$ .

45. Эффективность работы мембраны определяется двумя факторами: ее селективностью и

- а) потоком сырья;
- б) потоком ретентата;
- в) толщиной мембраны;
- г) потоком пермеата (производительностью).

46. Если размер пор больше 50 нм, то это:

- а) макропоры;
- б) ортопоры;
- в) мезопоры;
- г) микропоры.

47. Если размер пор находится в интервале от 50 до 2 нм, то это:

- а) макропоры;
- б) мезопоры;
- в) ортопоры;
- г) микропоры.

48. Если размер пор мембраны меньше 2 нм, то это:

- а) макропоры;
- б) ортопоры;
- в) мезопоры;
- г) микропоры.

49. Какой из методов получения синтетических мембран позволяет получать мембраны, имеющие структуру с параллельными цилиндрическими порами с узким распределением пор по размерам?

- а) Спекание.
- б) Травление ядерных треков.
- в) Выщелачивание из пленки.
- г) Инверсия фаз.

50. Какой метод производства мембран в настоящее время является основным?

- а) Спекание.
- б) Вытяжка.
- в) Выщелачивание из пленки.
- г) Инверсия фаз.

51. Основным из методов получения мембран инверсией фаз является:

- а) испарение растворителя;
- б) термическое осаждение;
- в) осаждение путем погружения;
- г) осаждение с контролируемым охлаждением.

52. Каким методом можно изготовить мембрану из порошков металлов и неметаллов:

- а) инверсией фаз;
- б) спеканием;
- в) выщелачиванием;
- г) травлением.

53. Что не является важнейшей характеристикой пористой мембраны?

- а) Размер пор.
- б) Распределение пор по размерам.
- в) Площадь мембраны.
- г) Поверхностная пористость.

**Темы 3, 4. Основы термодинамики мембранных процессов  
Основы кинетики мембранных процессов**

54. Движущей силой мембранных процессов не является:

- а) градиент давления;
- б) градиент силы тяжести;
- в) градиент концентрации;
- г) градиент температур.

55. Движущей силой мембранного процесса диализа является:

- а) градиент давления;
- б) градиент концентрации;
- в) градиент электрического потенциала;
- г) градиент температуры.

56. Движущей силой мембранного процесса первапорации является:

- а) градиент концентрации;
- б) градиент давления;
- в) градиент температуры;
- г) градиент электрического потенциала.

57. В основе процесса диализа лежит:

- а) приложенное давление;
- б) повышение температуры;
- в) различие химических потенциалов;
- г) использование диализата.

58. Какой из указанных процессов не относится к процессам, движущей силой которых является разность концентраций?

- а) Газоразделение.
- б) Первапорация.
- в) Пьезодиализ.
- г) Диализ.

59. Осмотическое давление определяется по закону:

- а) Кирхгофа;
- б) Генри;
- в) Клаузиуса–Клапейрона;
- г) Вант-Гоффа.

60. Какой из указанных ниже мембранных процессов протекает с фазовым переходом?

- а) Пьезодиализ.
- б) Первапорация.
- в) Газоразделение.
- г) Наночелчтрация.

61. Разделение какими мембранами является общим для процессов, движущей силой которых является разность концентраций:

- а) пористыми;
- б) симметричными;
- в) мозаичными;
- г) непористыми.

62. Мембраны для диализа должны обладать способностью:

- а) набухать;
- б) растворяться;
- в) заряжаться;
- г) уплотняться.

63. Каким законом связываются между собой значения концентрации растворенного вещества и парциального давления:

- а) Генри;
- б) Кирхгофа;
- в) Вант-Гоффа;
- г) Клапейрона–Менделеева.

64. Принцип разделения при диализе:

- а) ситовый механизм;
- б) «сорбция–десорбция»;
- в) кнудсеновский поток;
- г) «растворение–диффузия».

65. При набухании диализных мембран коэффициент диффузии увеличивается:

- а) в 2 раза;
- б) в 1000 раз;
- в) на 10 порядков;
- г) на 6 порядков.

66. Какие из стадий не включаются в процесс первапорации?

- а) Селективная сорбция на входной поверхности мембраны.
- б) Селективная диффузия через мембрану.
- в) Селективная флотация через мембрану.
- г) Десорбция в парообразную фазу на входной поверхности мембраны.

67. Принцип разделения при первапорации:

- а) «растворение–диффузия»;
- б) ситовый механизм;
- в) кнудсеновский поток;
- г) «сорбция–десорбция».

68. Первапорация не применяется:

- а) для дегидратации органических растворителей;
- б) для разделения суспензий;
- в) для очистки воды от органических компонентов;
- г) для разделения изомеров.

69. Какие фазы разделяются при первапорации:

- а) жидкая–газ;
- б) жидкая–жидкая;
- в) жидкая–твердая;
- г) газ–газ.

70. Уравнением потока в диализе является:

- а)  $J_s = AD_s \Delta P / L$ ;
- б)  $J_s = AK_s \Delta P / L$ ;
- в)  $J_s = D_s K_s \Delta C_s / L$ ;
- г)  $J_s = D_s K_s \Delta P / L$ .

71. Основное применение диализа:

- а) разделение органических смесей;
- б) гемодиализ;
- в) разделение изомеров;
- г) разделение полярных и неполярных органических жидкостей.

72. Диализ применяется:

- а) для разделения органических жидкостей;
- б) разделения изомеров;
- в) разделения суспензий;
- г) уменьшения концентрации спирта в пиве.

73. Первапорация не применяется:

- а) для разделения изомеров;
- б) очистки сточных вод;
- в) удаления воды из органических растворителей;
- г) удаления органических растворителей из воды.

## **Тема 5. Баромембранные процессы**

74. Движущей силой баромембранных процессов является:

- а) градиент концентрации;
- б) градиент электрического потенциала;
- в) градиент давления;
- г) градиент температуры.

75. Какой из мембранных процессов не является баромембранным:

- а) ультрафильтрация;
- б) микрофильтрация;
- в) обратный осмос;
- г) мембранная дистилляция.

76. Баромембранным процессом является:

- а) первапорация;
- б) пьезодиализ;
- в) диализ;
- г) газоразделение.

77. Какие мембраны используются в пьезодиализе?

- а) Пористые.
- б) Мозаичные.
- в) Симметричные.
- г) Асимметричные.

78. Применение процесса пьезодиализа:

- а) получение электроэнергии;
- б) очистка растворителя;
- в) обессоливание морской воды;
- г) концентрирование солей.

79. Баромембранным процессом является:

- а) первапорация;
- б) диализ;
- в) осмотическая машина;
- г) газоразделение.

80. Движущей силой мембранного процесса пьезодиализа является:

- а) градиент электрического потенциала;
- б) градиент концентрации;
- в) градиент температуры;
- г) градиент давления.

81. Движущей силой процесса «осмотическая машина» является:

- а) градиент давления;
- б) градиент концентрации;
- в) градиент температуры;
- г) градиент электрического потенциала.

82. Применение процесса «осмотическая машина»:

- а) концентрирование солей;
- б) получение электроэнергии;
- в) очистка растворителя;
- г) обессоливание морской воды.

83. Материал мембраны пьезодиализа относится:

- а) к эластомерам;
- б) неэлектролитам;
- в) полиэлектролитам;
- г) диэлектрикам.

84. Электронейтральность в процессе пьезодиализа соблюдается за счет:

- а) отсутствия катионов и анионов;
- б) молекул растворителя;
- в) одновременного прохождения через мембрану катионов и анионов;
- г) градиента давления.

85. Мембраны пьезодиализа изготовлены:

- а) из металла;
- б) стекла;
- в) керамики;
- г) ионообменных смол.

86. Движущей силой процесса микрофльтрации является:

- а) градиент давления;
- б) градиент концентрации;
- в) градиент электрического потенциала;
- г) градиент температуры.

87. Движущей силой процесса ультрафльтрации является:

- а) градиент концентрации;
- б) градиент температуры;
- в) градиент давления;
- г) градиент электрического потенциала.

88. Уравнение потока при микрофильтрации:

а)  $J_v = 1 K_s D_s \Delta P$ ;

б)  $J_v = K_{\text{прониц}} \Delta P$ ;

в)  $J_v = (D_k \Delta P) / 1$ ;

г)  $J_v = D_s 1 \Delta P$ .

89. Уравнение потока при ультрафильтрации:

а)  $J_v = A K_s D_s \Delta P$ ;

б)  $J_v = K_s S D_k \Delta P$ ;

в)  $J_v = K_{\text{прониц}} \Delta P$ ;

г)  $J_v = (K_s S D_k) / \Delta P$ .

90. Движущей силой процесса обратного осмоса является:

а) градиент концентрации;

б) градиент электрического потенциала;

в) градиент температуры;

г) градиент давления.

91. Давление в обратном осмосе равно:

а)  $\Delta P < 2$  бар;

б)  $\Delta P = 100$  бар;

в)  $\Delta P = 10$  бар;

г)  $\Delta P < 0,5$  бар.

92. Давление в микрофильтрации равно:

а)  $\Delta P < 2$  бар;

б)  $\Delta P > 2$  бар;

в)  $\Delta P > 10$  бар;

г)  $\Delta P = 20$  бар.

93. Давление в ультрафильтрации равно:

а)  $\Delta P = 1$  бар;

б)  $\Delta P < 2$  бар;

в)  $\Delta P = 10$  бар;

г)  $\Delta P = 20$  бар.

94. Процесс обратного осмоса будет протекать, если приложенное давление будет:

- а)  $\Delta P < \Delta \Pi$ ;
- б)  $\Delta P > \Delta \Pi$ ;
- в)  $\Delta P = \Delta \Pi$ ;
- г)  $\Delta P \ll \Delta \Pi$ .

95. Уравнение потока при обратном осмосе с использованием неидеальных мембран:

- а)  $J_w = A (\Delta P - \Delta \Pi)$ ;
- б)  $J_w = D_w C_w V_w / RTL (\Delta P - \Delta \Pi)$ ;
- в)  $J_w = A (\Delta P - \delta \Delta \Pi)$ ;
- г)  $J_w = K_{\text{прониц}} \Delta P$ .

96. Коэффициент задержания определяется по формуле:

- а)  $K_{\text{задерж}} = A (\Delta \Pi - \Delta P) / A (\Delta P - \Delta \Pi) + J$ ;
- б)  $K_{\text{задерж}} = B (\Delta P - \Delta \Pi) / A (\Delta P - \Delta \Pi) + A$ ;
- в)  $K_{\text{задерж}} = A (\Delta P - \Delta \Pi) / A (\Delta \Pi - \Delta P) + B$ ;
- г)  $K_{\text{задерж}} = A (\Delta P - \Delta \Pi) / A (\Delta P - \Delta \Pi) + B$ .

97. Уравнение потока в мембранном процессе «осмотическая машина»:

- а)  $J_w = A (\Delta P - \delta \Delta \Pi)$ ;
- б)  $J_w = A (\Delta \Pi - \Delta P)$ ;
- в)  $J_w = K_{\text{прониц}} \Delta P$ ;
- г)  $J_w = D_w C_w V_w / RTL (\Delta P - \Delta \Pi)$ .

98. Основное применение обратного осмоса:

- а) концентрирование солей;
- б) концентрирование молока;
- в) обессоливание морской воды;
- г) концентрирование сточных вод.

99. Коэффициент задержания растворенного вещества в обратном осмосе определяется уравнением:

- а)  $B = J \Delta P / SL$ ;
- б)  $B = \Delta P \Delta C_s / L$ ;

- в)  $B = D_s K_s / L$ ;  
г)  $B = D_s K_{\text{прониц}} / S$ .

100. Уравнение потока через мембрану растворенного вещества:

- а)  $J_s = B K_s \Delta C_s$ ;  
б)  $J_s = B \Delta C_s$ ;  
в)  $J_s = D_s K_s \Delta P$ ;  
г)  $J_s = (B \Delta C) / l$ .

101. Уравнение потока обратного осмоса, если мембрана идеальна:

- а)  $J_v = A (\Delta \Pi - \Delta P)$ ;  
б)  $J_v = A (\Delta P - \delta \Delta \Pi)$ ;  
в)  $J_v = A (\Delta \Pi - \delta \Delta P)$ ;  
г)  $J_v = A (\Delta P - \Delta \Pi)$ .

102. Уравнение Вант-Гоффа для определения осмотического давления электролитов:

- а)  $\Delta \Pi = CRT$ ;  
б)  $\Delta \Pi = (CRT) / i$ ;  
в)  $\Delta \Pi = i (C / M) RT$ ;  
г)  $\Delta \Pi = (i CRT) / l$ .

## Тема 6. Мембранное разделение газов

103. Движущей силой мембранного процесса газоразделения является:

- а) градиент давления;  
б) градиент температуры;  
в) градиент концентрации;  
г) градиент электрического потенциала.

104. Принцип разделения газов пористыми мембранами:

- а) кнудсеновский поток;  
б) ситовый механизм;  
в) «растворение–диффузия»;  
г) «сорбция–десорбция».

105. Принцип разделения газов непористыми мембранами:

- а) ситовый механизм;
- б) кнудсеновский поток;
- в) «растворение–диффузия»;
- г) «сорбция–десорбция».

106. Уравнение потока при газоразделении непористыми мембранами:

- а)  $J = D (C_o - C_e) / L$ ;
- б)  $J = D K_{\text{раств}} (p_o - p_e) / L$ ;
- в)  $J = K_{\text{прониц}} (p_o - p_e) / L$ ;
- г)  $J = \Pi_{nr}^2 D_k \Delta P / RT V L$ .

107. Уравнение потока при газоразделении пористыми мембранами:

- а)  $J = (\Pi_n D_k l \Delta P) / RT V$ ;
- б)  $J = (\Pi_{nr}^2 D_k \Delta P) / RT V l$ ;
- в)  $J = (\Pi_{nr} D_k l) / RT V \Delta P$ ;
- г)  $J = (\Pi_n E^2 - D_k \Delta P) / RT l$ .

108. Единицы измерения коэффициента проницаемости при газоразделении:

- а) бар / м<sup>2</sup>;
- б) м<sup>2</sup> /бар;
- в) баррер;
- г) л / м<sup>2</sup>.

109. Проницаемость различных полимеров по отношению к молекулам определенного газа отличаются друг от друга:

- а) на 2 порядка;
- б) 6 порядков;
- в) 10 порядков;
- г) 4 порядка.

110. Проницаемость одного и того же полимера по отношению к молекулам различных газов отличаются:

- а) на 5 порядков;

- б) 10 порядков;
- в) 4 порядка;
- г) 6 порядков.

111. Газоразделение не применяется при разделении:

- а) водорода и гелия;
- б) природного газа и CO;
- в) природного газа и водорода;
- г) дымовых газов и SO.

### **Тема 7. Электромембранные процессы**

112. Движущей силой электромембранных процессов является:

- а) градиент электрического потенциала;
- б) градиент температуры;
- в) градиент давления;
- г) градиент концентрации.

113. К электромембранным процессам не относятся:

- а) электроосмос;
- б) электродиализ;
- в) пьезодиализ;
- г) мембранный электролиз.

114. Мембраны электродиализа изготовлены:

- а) из эластомеров;
- б) полиэлектролитов;
- в) стекла;
- г) керамики.

115. Мембраны электродиализа не являются:

- а) пористыми;
- б) непористыми;
- в) гомогенными;
- г) гетерогенными.

116. К ионообменным мембранам не предъявляется условие:

- а) высокая электропроводность;
- б) высокая селективность;
- в) высокая степень набухания;
- г) высокая механическая прочность.

117. Главное применение электродиализа:

- а) разделение аминокислот;
- б) получение каустической соды и хлора;
- в) получение серной кислоты;
- г) обессоливание морской воды.

118. Разделение аминокислот процессом электродиализа возможно:

- а) при повышении температуры;
- б) повышении давления;
- в) регулировке значения рН;
- г) набухании мембран.

119. Разделение аминокислот основано:

- а) на изменении температуры;
- б) разных значениях изоэлектрической точки различных белков;
- в) изменении давления;
- г) изменении химических потенциалов.

120. Разделение при электродиализе заключается:

- а) в чередовании ячеек с концентрированным и разбавленным раствором;
- б) получении пермеата;
- в) получении ретентата;
- г) получении пенетранта.

121. Мембранные модули подразделяются на два класса:

- а) по структуре мембраны;
- б) принципу разделения;
- в) конфигурации мембраны;
- г) геометрии пор мембраны.

122. Композиционная мембрана состоит из:

- а) пяти различных полимеров;
- б) трех различных полимеров;
- в) одного полимера;
- г) двух различных полимеров.

123. Интегральная мембрана состоит:

- а) из трех различных полимеров;
- б) одного полимера;
- в) двух различных полимеров;
- г) четырех различных полимеров.

124. В каком виде модулей не используются трубчатые мембраны?

- а) Капиллярный.
- б) Половолоконный.
- в) Трубчатый.
- г) Рулонный.

125. В каком из модулей используются плоские мембраны?

- а) Капиллярный.
- б) Трубчатый.
- в) Спиральный.
- г) Половолоконный.

### Ответы на вопросы к тестам

№ вопроса	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вариант ответа	в	г	б	а	г	б	г	в	а	а	г	г
№ вопроса	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Вариант ответа	г	г	в	б	а	в	в	б	в	б	в	в
№ вопроса	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Вариант ответа	б	а	в	г	б	а	г	в	б	в	б	г
№ вопроса	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Вариант ответа	в	б	а	г	б	б	г	б	г	а	б	г
№ вопроса	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Вариант ответа	б	г	в	б	в	б	б	а	в	г	б	б
№ вопроса	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Вариант ответа	г	а	а	г	г	в	а	б	а	в	б	г
№ вопроса	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Вариант ответа	б	в	г	б	б	г	в	г	а	б	в	в
№ вопроса	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
Вариант ответа	г	а	в	б	в	г	б	а	в	б	в	г
№ вопроса	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
Вариант ответа	б	в	в	б	б	в	в	а	в	в	б	в
№ вопроса	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
Вариант ответа	б	г	в	а	в	б	а	в	г	в	б	а
№ вопроса	121	122	123	124	125							
Вариант ответа	в	г	б	г	в							

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основной*

**Панова Н.Е., Шлейкин А.Г.** Физико-химические основы мембранных процессов: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. – 91 с.

### *Дополнительный*

**Дытнерский Ю.И.** Мембранное разделение газов. – М.: Химия, 1991. – 344 с.

**Зимон А.Д., Лещенко Н.Ф.** Коллоидная химия: Учеб. для вузов. – М.: Химия, 2003. – 326 с.

**Мулдер М.** Введение в мембранную технологию. – М.: Мир, 1999. – 513 с.

**Черкасов А.Н., Пасечник В.А.** Мембраны и сорбенты биотехнологии. – Л.: Химия, 1991. – 240 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	1
СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ .....	9
ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЧЁТА.....	20
ТЕСТЫ.....	21
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	45

**Шлейкин Александр Герасимович  
Панова Нина Евгеньевна**

**МЕМБРАННЫЕ ПРОЦЕССЫ  
В BIOTEХНОЛОГИИ**

Учебно-методическое пособие

*Ответственный редактор*

Т.Г. Смирнова

*Редакторы*

Л.Г. Лебедева

Т.В. Белянкина

*Компьютерная верстка*

Н.В. Гуральник

*Дизайн обложки*

Н.А. Потехина

---

Подписано в печать 28.06.2013. Формат 60×84 1/16

Усл. печ. л. 3,02. Печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,0

Тираж 30 экз. Заказ № С 48

---

НИУ ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

ИИК ИХиБТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

