

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>10</b>
Литература.....	14
<b>1. Высокмолекулярные ионообменные мембраны</b>	
<b>(А.Б. Ярославцев).....</b>	<b>15</b>
1.1. Строение ионообменных мембран.....	16
1.2. Производство ионообменных мембран .....	25
1.3. Ионный перенос в мембранах .....	28
1.4. Современные подходы к модификации мембран .....	43
1.5. Причины ускорения ионного переноса	
в гибридных мембранах .....	49
Литература.....	59
<b>2. Биполярные ионообменные мембраны. Получение. Свойства.</b>	
<b>Применение (Н.В. Шельдешов, В.И. Заболоцкий) .....</b>	<b>70</b>
Введение .....	70
2.1. Получение биполярных мембран .....	73
2.2. Строение биполярных мембран .....	77
2.3. Процессы, протекающие в биполярных мембранах	
при прохождении через них электрического тока .....	82
2.4. Электрохимические характеристики биполярных мембран	
и методы их исследования .....	95
2.5. Технологические применения биполярных мембран.....	100
Литература.....	115
<b>3. Трековые мембраны (П.Ю. Апель, С.Н. Дмитриев) .....</b>	<b>126</b>
3.1. История .....	126
3.2. Фундаментальные основы процесса получения	
трековых мембран.....	128
3.2.1. Образование травимого трека .....	128

3.2.2. Выбор химического травителя .....	130
3.2.3. Геометрия травления трека .....	132
3.2.4. Факторы, от которых зависит избирательность травления треков .....	134
3.2.5. Структура травимого трека в нанометровом масштабе .....	136
3.2.6. Особые случаи кинетики травления «трековых» нанопор .....	139
3.3. Промышленная технология трековых мембран .....	143
3.4. Краткая характеристика коммерческих ТМ .....	147
3.5. Разработка ТМ из других полимерных материалов .....	150
3.6. Модификация структуры и свойств поверхности ТМ .....	151
3.6.1. Асимметричные трековые мембраны .....	151
3.6.2. Модификация поверхности .....	152
3.7. Структурные и эксплуатационные параметры трековых мембран .....	153
3.8. Применения трековых мембран .....	157
Литература .....	163
<b>4. Неорганические среднетемпературные мембраны с протонной проводимостью (В.Г. Пономарева) .....</b>	<b>169</b>
4.1. Протонные проводники со структурной разупорядоченностью $M_nH_m(XO_4)_p$ .....	169
4.1.1. Транспортные свойства кислых солей семейства $M_nH_m(XO_4)_p$ ..	170
4.1.2. Характер связей $M_nH_m(XO_4)_p$ и влияние размера ионов .....	173
4.1.3. Механизм протонного транспорта .....	174
4.2. Использование протонных мембран в среднетемпературных топливных элементах .....	182
4.3. Композиционные твердые электролиты .....	187
4.3.1. Межфазное поверхностное взаимодействие .....	189
4.3.2. Транспортные, структурные и термодинамические свойства композитов на основе $M_nH_m(XO_4)_p$ .....	189
4.3.3. Композиционные протонные мембраны на основе $NH_4PO_3$ и фосфосиликатных гелей для топливных элементов .....	199
4.4. Высокотемпературные протонные электролиты .....	202
Литература .....	208
<b>5. Жидкие мембраны (Е.В. Юртов, М.Ю. Королева) .....</b>	<b>219</b>
5.1. Основные принципы мембранной экстракции .....	220
5.2. Разновидности процессов переноса вещества через жидкую мембрану .....	221
5.3. Экстрагенты–переносчики .....	223
5.4. Методы мембранной экстракции .....	227
5.4.1. Свободные жидкие мембраны .....	227
5.4.1.1. Диффузионные ячейки со свободными жидкими мембранами .....	227

5.4.1.2. Пертракторы.....	228
5.4.1.3. Методы со свободными жидкими мембранами и диспергированием фаз .....	231
5.4.1.4. Практическое использование свободных жидких мембран .....	233
5.4.2. Импрегнированные мембраны .....	234
5.4.2.1. Стабильность импрегнированных мембран .....	235
5.4.2.2. Матрицы для импрегнированных мембран .....	238
5.4.2.3. Диффузионные ячейки и аппараты с импрегнированными мембранами .....	238
5.4.2.4. Практическое использование импрегнированных жидких мембран .....	241
5.4.3. Мембранная экстракция во множественной эмульсии .....	244
5.4.3.1. Стабильность эмульсионных жидких мембран.....	245
5.4.3.2. Техника мембранной экстракции во множественной эмульсии.....	249
5.4.3.3. Аппаратурное оформление мембранной экстракции во множественной эмульсии.....	251
5.4.3.4. Практическое использование мембранной экстракции во множественной эмульсии.....	253
Литература.....	255

<b>6. Расчетные методы описания процессов переноса в мембранах (В.И. Ролдугин) .....</b>	<b>264</b>
6.1. Неравновесная термодинамика мембранных процессов .....	264
6.1.1. Общие соотношения.....	264
6.1.2. Термоосмос и механокалорический эффект .....	267
6.1.3. Диффузионный осмос и обратный осмос .....	269
6.1.4. Электроосмос и ток течения.....	271
6.2. Режимы переноса компонентов через мембраны .....	272
6.3. Фильтрация жидкости и газа .....	275
6.4. Обратноосмотическое разделение компонентов в капиллярах .....	281
6.5. Течение газов и газовых смесей в широких порах .....	286
6.6. Свободномолекулярное течение в цилиндрическом капилляре.....	289
6.7. Неупорядоченная пористая среда .....	294
6.8. Влияние поверхностных сил на течение газа в капиллярах .....	296
6.9. Модель запыленного газа («dusty-gas» model).....	301
6.10. Непористые мембраны .....	304
6.10.1. Транспортные уравнения .....	304
6.10.2. Коэффициент диффузии.....	307
6.11. Композиционные мембраны .....	308
6.11.1. Проницаемость композиционных материалов.....	308
6.11.2. Перколяционный переход .....	311
6.12. Метод молекулярной динамики.....	312
Литература.....	314

<b>7. Моделирование явлений переноса в системах с ионообменными мембранами (В.В. Никоненко, Н.Д. Письменская, G. Pourcelly, C. Larchet) .....</b>	<b>317</b>
7.1. Основные механизмы переноса и подходы к описанию транспорта в мембранах.....	317
7.2. Описание переноса в мембранах с позиций термодинамики неравновесных процессов.....	319
7.2.1. Сопряжение сил и потоков. Уравнения Онзагера.....	319
7.2.2. Уравнения Кедем–Качальского и практические коэффициенты переноса .....	322
7.2.3. Другие подходы к описанию переноса в мембранах .....	326
7.2.4. Уравнение Нернста–Планка. Учет конвективного переноса.....	327
7.3. Структурно-кинетические модели заряженных мембран.....	330
7.3.1. Разделение фаз в мембране и описание переноса в отдельной фазе .....	330
7.3.2. Континуальные модели .....	332
7.3.3. Теория перколяции .....	334
7.3.4. Гетерофазные модели. Микрогетерогенная модель .....	335
7.4. Перенос ионов в мембранных системах в условиях концентрационной поляризации .....	339
7.4.1. Индуцированный протеканием тока градиент концентрации. Предельная плотность тока .....	340
7.4.2. Скачок потенциала в мембранной системе.....	345
7.5. Интенсивные токи. Нарушение локальной электронейтральности. ....	347
7.5.1. Задача Рубинштейна.....	347
7.5.2. Структура области пространственного заряда. Условие квазиравномерного распределения плотности заряда (КРЗ).....	350
7.6. Зависимость эффективной толщины диффузионного слоя от плотности тока .....	355
7.7. Описание концентрационной поляризации в рамках двумерных моделей .....	358
7.7.1. Предельная плотность тока и толщина ДПС. Уравнения Левека .....	358
7.7.2. Учет зависимости коэффициента диффузии от концентрации.....	362
7.7.3. Случай длинных электродиализных каналов .....	364
7.7.4. Допредельные режимы ЭД .....	364
7.7.5. Описание ЭД в сверхпредельных токовых режимах. Электроконвективные вихри .....	365
7.8. Механизмы сверхпредельного массопереноса .....	367
7.8.1. Каталитическая генерация ионов $H^+$ и $OH^-$ , эффект экзальтации предельного тока .....	367
7.8.2. Сопряженная конвекция раствора.....	369

7.8.3. Условия развития гравитационной конвекции и электроконвекции .....	372
7.9. Взаимосвязь между электрохимическим поведением мембран и свойствами их поверхности. Свойства, определяющие интенсивность развития электроконвекции .....	374
7.9.1. Гидрофильно/гидрофобный баланс поверхности .....	375
7.9.2. Электрическая неоднородность поверхностного слоя мембраны .....	380
7.9.3. Роль стоковского радиуса противоионов .....	381
7.10. Управление предельным и сверхпредельным массопереносом путем модифицирования поверхности мембран .....	383
7.10.1. Ослабление генерации ионов $H^+$ и $OH^-$ .....	384
7.10.2. Варьирование степени гидрофобности и электрической неоднородности поверхности .....	387
7.10.3. Профилирование поверхности мембран .....	389
7.10.4. Пути совершенствования ИОМ для обессоливания разбавленных растворов .....	390
Литература .....	393
<b>8. Методы исследования и характеристика синтетических полимерных мембран (Н.А. Кононенко, Н.П. Березина) .....</b>	<b>402</b>
8.1. Мембранное материаловедение и подходы к характеристике синтетических мембран .....	403
8.2. Исследование электропроводящих свойств мембранных материалов. Мембранная кондуктометрия .....	405
8.3. Электротранспорт воды в мембранных системах .....	412
8.4. Селективность мембран. Взаимосвязь селективных и электроосмотических свойств ионообменных мембран .....	415
8.5. Диффузионная проницаемость мембранных материалов .....	421
8.6. Поляризационные явления в электромембранных системах. Мембранная вольтамперометрия .....	427
8.7. Физические методы исследования структурной организации мембран .....	431
8.8. Характеристики пористой структуры мембран .....	436
Заключение .....	447
Литература .....	448
<b>9. Каталитические процессы в мембранных реакторах (Н.Л. Басов, М.М. Ермилова, В.И. Лебедева, Н.В. Орехова) .....</b>	<b>456</b>
9.1. История развития мембранного катализа .....	457
9.2. Типы мембранных катализаторов .....	457
9.2.1. Монолитные мембранные катализаторы .....	459

9.2.2. Пористые мембранные катализаторы. Цеолитные мембраны.....	459
9.2.3. Композиционные мембранные катализаторы .....	462
9.2.4. Системы катализатор – мембрана .....	463
9.3. Основные преимущества использования мембранных катализаторов в реакциях с участием водорода.....	464
9.4. Мембранные катализаторы реакций гидрирования .....	465
9.4.1. Гидрирование в реакторах с монолитными металлическими мембранами .....	465
9.4.1.1. Парофазное гидрирование .....	466
9.4.1.2. Жидкофазное гидрирование .....	472
9.4.2. Гидрирование на композиционных мембранных катализаторах .....	474
9.5. Мембранные катализаторы реакций дегидрирования.....	477
9.5.1. Дегидрирование на монолитных мембранах на основе палладия .....	477
9.5.2. Системы катализатор – мембрана .....	479
9.5.3. Сопряжение реакций в мембранных реакторах.....	480
9.5.4. Мембранные микрореакторы .....	481
9.6. Возможность применения мембранного катализа в основных промышленных процессах производства водорода .....	484
9.6.1. Дегидрирование углеводородов .....	485
9.6.2. Паровой риформинг спиртов.....	489
9.6.3. Переработка метана в мембранных реакторах .....	493
9.6.3.1. Паровая конверсия метана .....	495
9.6.3.2. Углекислотная конверсия метана .....	496
9.6.3.3. Парциальное окисление метана .....	497
9.6.3.4. Окислительное сочетание метана .....	498
9.6.3.5. Неокислительное сочетание метана .....	498
9.7. Заключение .....	501
Литература.....	502
<b>10. Нанокompозитные полимерные протонообменные мембраны     для топливных элементов (Ю.А. Добровольский) .....</b>	<b>510</b>
10.1. Протонообменные мембраны .....	513
10.2. Модификация протонообменных мембран наноразмерными компонентами.....	519
10.3. Заключение .....	534
Литература.....	534
<b>11. Наночистота органических сред (С.М. Царьков,     А.А. Юшкин, А.В. Волков) .....</b>	<b>539</b>
11.1. Введение .....	539

11.2. Принцип метода и основные характеристики.....	540
11.3. Модельные подходы .....	542
11.4. Мембранные материалы и мембраны для НФОС.....	545
11.4.1. Эластомеры.....	545
11.4.2. Стеклообразные полимеры .....	548
11.4.2.1. Низкопроницаемые стеклообразные полимеры .....	548
11.4.2.2. Высокопроницаемые стеклообразные полимеры.....	550
11.4.3. Неорганические материалы .....	551
11.5. Модификации мембран .....	551
11.5.1. Мембраны со смешанной матрицей.....	551
11.5.2. Плазмохимическая обработка мембран.....	552
11.6. Области применения.....	553
11.6.1. Нефтехимическая промышленность.....	553
11.6.2. Пищевая промышленность .....	555
11.6.3. Гомогенный катализ в органическом синтезе .....	559
11.6.4. Выделение ионных жидкостей .....	568
11.6.5. Фармакология .....	570
Литература.....	572
<b>12. Разделение жидкостей методом первапорации</b> <b>(И.Л. Борисов, В.А. Кириш, В.В. Волков).....</b>	<b>580</b>
12.1. Принцип метода .....	580
12.2. Общие закономерности выбора полимеров для первапорационных мембран .....	585
12.3. Модельные подходы .....	589
12.4. Основные разделительные задачи.....	595
12.4.1. Разделение водно-органических смесей .....	596
12.4.1.1. Выделение воды из органических растворителей и их смесей.....	596
12.4.1.2. Выделение органических компонентов из водных сред .....	598
12.4.2. Разделение смесей органических веществ.....	600
12.5. Промышленные применения первапорации .....	601
12.5.1. Производители первапорационных мембран и мембранных установок .....	602
12.5.1.1. Гидрофильные мембраны .....	603
12.5.1.2. Гидрофобные мембраны .....	604
12.5.1.3. Органоселективные мембраны.....	605
Литература.....	609