

УДК 66.081.6(075)  
ББК 35.115я7  
М49

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Казанского национального исследовательского технологического университета*

*Рецензенты:*  
*канд. хим. наук И. Н. Надеждин*  
*канд. хим. наук Г. М. Рахматуллина*

**Авторы: Д. И. Фазылова, Н. Н. Шишкина, Р. С. Яруллин,  
Е. А. Кияненко**

**М49** Мембранные процессы разделения : учебное пособие / Д. И. Фазылова [и др.]; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2018. – 112 с.

ISBN 978-5-7882-2528-9

Рассмотрены мембранные процессы разделения жидких и газообразных сред, материалы для изготовления мембран, промышленное применение мембранных процессов разделения.

Предназначено для бакалавров направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» (профиль «Эксплуатация, обслуживание технологических объектов нефтегазового производства»), а также для магистров направления подготовки 18.04.01 «Химическая технология» (программа подготовки «Газохимические технологии производства сырья для полимеров»).

Подготовлено на кафедре технологии синтетического каучука.

**УДК 66.081.6(075)  
ББК 35.115я7**

ISBN 978-5-7882-2528-9

© Фазылова Д. И., Шишкина Н. Н.,  
Яруллин Р. С., Кияненко Е. А., 2018  
© Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О МЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССАХ РАЗДЕЛЕНИЯ .....	7
1.1. Виды процессов массопереноса и диффузии .....	7
1.2. Различие мембранного процесса разделения от процесса фильтрации .....	12
2. МЕМБРАННЫЕ ПРОЦЕССЫ РАЗДЕЛЕНИЯ.....	16
2.1. Классификация мембранных процессов разделения .....	16
2.2. Баромембранные процессы разделения .....	18
2.2.1. Микрофильтрация .....	24
2.2.2. Ультрафильтрация.....	26
2.2.3. Обратный осмос.....	30
2.2.4. Нанофильтрация .....	32
2.3. Факторы, влияющие на мембранные процессы разделения .....	35
2.4. Технологические характеристики мембран для разделения жидких сред .....	36
2.5. Механизмы мембранного разделения жидких сред.....	39
2.6. Методы определения характеристик ультра- и микрофильтрационных мембран .....	40
2.7. Диализ и электродиализ .....	41
2.8. Разделение газовых смесей .....	43
2.9. Разделение жидких смесей методом первапорации.....	50
3. МЕМБРАНЫ (КЛАССИФИКАЦИЯ, МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ)....	53
3.1. Классификация мембран .....	53
3.2. Материалы для изготовления мембран .....	56
3.3. Методы получения полимерных мембран.....	65
3.3.1. Получение мембран из растворов полимеров методом инверсии фаз .....	65
3.3.2. Получение мембран из расплавов полимеров.....	73
3.3.3. Получение мембран методом спекания.....	73
3.3.4. Получение мембран травлением монолитных пленок (трековые мембраны или ядерные фильтры).....	74

<b>4. ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ .....</b>	<b>77</b>
4.1. Классификация мембранных аппаратов .....	77
4.2. Применение и перспективы мембранных технологий .....	87
4.3. Получение сверхчистой воды .....	90
4.4. Опреснение соленых вод .....	92
4.5. Переработка промышленных отходов .....	92
4.6. Применение мембран в биотехнологии .....	96
4.7. Применение мембран в пищевой промышленности.....	97
4.8. Применение мембран в медицине .....	99
4.9. Применение мембран в процессе первапорации.....	100
4.10. Применение мембран для промышленного разделения газовых смесей .....	101
 Вопросы для самоконтроля .....	 106
 Тестовые задания для контроля знаний студентов .....	 107
 <b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	 <b>111</b>