

24-4624

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»

Институт промышленной инженерии, информационных технологий и мехатроники

Б. Н. ФЕДОРЕНКО

ИНЖЕНЕРИЯ КОНВЕРГЕНТНЫХ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

на основе биомембранных
процессов и систем

Учебник

24-04624

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»**

Кафедра прикладной механики и инжиниринга технических систем

Б. Н. ФЕДОРЕНКО

ИНЖЕНЕРИЯ КОНВЕРГЕНТНЫХ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

на основе биомембранных процессов и систем

Учебник

Рекомендовано учебно-методическим советом ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» в качестве учебника для студентов различного уровня подготовки, обучающихся по направлениям 19.03.01 и 19.04.01 «Биотехнология» и 15.03.02 и 15.04.02 «Технологические машины и оборудование».



РОСБИОТЕХ
РОССИЙСКИЙ
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

МОСКВА, 2024

УДК 66.31
ББК 36.81-5
Ф 33

Рецензенты:

А. Панфилов — профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств Российского государственного аграрного университета — МСХА им. К. А. Тимирязева, академик РАН, д-р техн. наук, профессор.

Л. А. Оганесянц — директор ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова», академик РАН, д-р техн. наук, профессор.

Федоренко, Б. Н.

Инженерия конвергентных природоподобных технологий на основе биомембранных процессов и систем : учебник / Б. Н. Федоренко. Москва : РОСБИОТЕХ, 2024. 576 с.

ISBN 978-5-9920-0403-8

В книге изложены теоретические, технологические и технические основы биологических и мембранных процессов и их инженерное обеспечение в пищевых и биотехнологических производствах.

Описаны новые гибридные биомембранные процессы, сочетающие в себе технологические возможности и преимущества биологических и мембранных процессов, протекающих на наномолекулярном уровне. На основе биомембранных процессов создается новое поколение биотехники — мембранные биореакторы, в которых биотехнологическая переработка органического сырья сопровождается непрерывным выделением из реакционного объема через мембраны образующихся продуктов.

Рассмотрены теоретические и практические аспекты инженерного обеспечения конвергентных природоподобных технологий на основе биомембранных процессов и систем, перспективы их применения в пищевых и биотехнологических производствах.

Книга предназначена для студентов, специализирующихся в области биотехнологического производства, а также будет полезна в качестве справочного пособия широкому кругу специалистов промышленных предприятий, научно-исследовательских и проектных организаций, конструкторских бюро биотехнологической и смежных с ней отраслей промышленности.

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме, включая размещение в сети Интернет, без письменного разрешения владельцев авторских прав.

УДК 66.31
ББК 36.81-

ISBN 978-5-9920-0403-8

© РОСБИОТЕХ, 2024
© Б. Н. Федоренко, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	10
ВВЕДЕНИЕ	15
ЧАСТЬ I. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ	21
Глава 1. Технологические аспекты биологических процессов	22
1.1. Обмен веществ микробной клетки	23
1.2. Основы кинетики культивирования микроорганизмов	24
1.2.1. Общая и удельная скорости роста микроорганизмов	25
1.2.2. Экспоненциальная закономерность роста микроорганизмов	27
1.2.3. Основные факторы, влияющие на рост и развитие микроорганизмов	29
1.2.4. Основное уравнение микрокинетики роста микроорганизмов	36
<i>Резюме</i>	37
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	38
ГЛАВА 2. Промышленная биотехнология как сфера применения биологических процессов	39
2.1. Классификация биотехнологических производств	39
2.2. Микробиологические производства	43
2.2.1. Многотоннажные микробиологические производства	43
2.2.2. Малотоннажные производства тонкого микробиологического синтеза	44
2.3. Инженерная энзимология	45
2.3.1. Промышленное применение инженерной энзимологии	46
2.3.2. Перспективные направления инженерной энзимологии	48
2.4. Биотехнологические производства как специфические биотехнические системы	49
2.4.1. Основы системологии биотехнологических производств	49
2.4.2. Организация и строение биотехнических систем	84
2.4.3. Моделирование и анализ биотехнических систем	87
2.5. О современной терминологии в промышленной биоинженерии	91
<i>Резюме</i>	93
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	94

Глава 3. Инженерное обеспечение биологических процессов	96
3.1. Инженерное обеспечение процессов на основе биосинтеза	96
3.1.1. Ретроспективный очерк о возникновении и развитии технологий на основе биосинтеза	96
3.1.2. Организация систем культивирования биологических объектов	109
3.1.3. Строение и функционирование систем культивирования биологических объектов	118
3.2. Инженерное обеспечение биокаталитических процессов.	154
3.2.1. Возникновение и развитие технологий на основе биокатализа	154
3.2.2. Теоретические аспекты биокатализа	158
3.2.3. Организация биокаталитических систем	167
3.2.4. Строение и функционирование биокаталитических систем	169
3.3. Основные технические системы в биореакторах	174
3.3.1. Системы перемешивания в биореакторах	174
3.3.2. Системы аэрации в биореакторах.	190
3.3.3. Системы теплообмена в биореакторах	201
3.3.4. Системы пеногашения в биореакторах	217
3.3.5. Системы обеспечения асептики в биореакторах	221
<i>Резюме</i>	<i>234</i>
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	<i>235</i>
Глава 4. Оборудование биотехнических систем.	236
4.1. Классификация и моделирование биореакторов	236
4.2. Биотехника для глубинного культивирования микроорганизмов.	240
4.2.1. Ферментеры – биореакторы для аэробного культивирования микроорганизмов	241
4.2.2. Бродильные аппараты – биореакторы для анаэробных биотехнологий	252
4.3. Биотехника для биокаталитических процессов	274
4.3.1. Заторные аппараты как биокаталитические реакторы	275
4.3.2. Трубчатые биокаталитические реакторы	291
4.3.3. Роторные биокаталитические реакторы	295
<i>Резюме</i>	<i>298</i>
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	<i>299</i>

Глава 5. Инженерные расчеты биореакторов	300
5.1. Инженерные расчеты биореакторов для глубинного культивирования микроорганизмов.	301
5.1.1. Технологические расчеты биореакторов.	301
5.1.2. Конструктивные расчеты биореакторов	304
5.1.3. Гидравлические расчеты биореакторов	307
5.1.4. Массообменные расчеты биореакторов	309
5.1.5. Энергетические расчеты биореакторов	312
5.1.6. Теплотехнические расчеты биореакторов	319
5.1.7. Прочностные расчеты биореакторов	326
5.2. Инженерные расчеты биокаталитических реакторов	327
5.2.1. Технологические расчеты заторных аппаратов	328
5.2.2. Конструктивные расчеты заторных аппаратов	329
5.2.3. Теплотехнические расчеты заторных аппаратов	331
<i>Резюме</i>	<i>333</i>
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	<i>334</i>
Глава 6. Биотехнологические среды как специфические объекты промышленной переработки	335
6.1. Биотехнологические среды микробиологических производств	336
6.1.1. Микроорганизмы как основные специфические элементы биотехнологических сред микробиологических производств	338
6.1.2. Микробная клетка как биологическая система	345
6.1.3. Основные физико-химические и теплофизические свойства ферментационных сред, содержащих микроорганизмы	349
6.2. Биотехнологические среды в инженерной энзимологии	354
6.2.1. Ферменты как основные специфические элементы биотехнологических сред в инженерной энзимологии	355
6.3. Биотехнологические среды — особая группа технологических сред	358
6.3.1. Специфические свойства биотехнологических сред требует специальных подходов к технологической переработке	359
6.3.2. Биотехнологические среды как объекты мембранного разделения	361
<i>Резюме</i>	<i>362</i>
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	<i>364</i>

Часть II. Мембранные процессы и их применение в промышленности	365
Глава 7. Теоретические аспекты мембранных процессов	367
7.1. Классификация основных мембранных процессов	368
7.2. О механизмах трансмембранного массопереноса	372
7.3. Кинетика трансмембранного массопереноса	375
<i>Резюме</i>	377
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	377
Глава 8. Инженерное обеспечение мембранных процессов	378
8.1. История открытия и развития мембранных процессов	378
8.2. Организация мембранных процессов	381
8.2.1. Движущая сила мембранных процессов	381
8.2.2. Ориентация потока разделяемой смеси относительно поверхности мембраны	386
8.2.3. Обеспечение гидродинамических условий у поверхности мембраны	387
8.3. Строение системы мембранных процессов	387
8.3.1. Структура системы мембранного процесса	387
8.3.2. Полупроницаемые мембраны как основные функциональные элементы системы мембранных процессов	389
8.4. Функционирование мембранных процессов	397
8.4.1. Основные показатели функционирования мембранных процессов	397
8.4.2. Концентрационная поляризация и уменьшение ее влияния	398
8.4.3. Особенности и преимущества мембранных процессов	400
8.4.4. Основные области применения мембранных процессов в промышленной биотехнологии	401
<i>Резюме</i>	403
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	403
Глава 9. Оборудование мембранных систем	404
9.1. Организация мембранных систем	404
9.1.1. Мембранные системы периодического действия	406
9.1.2. Мембранные системы непрерывного действия	409

9.2.	Строение мембранных систем	411
9.2.1.	Мембранные аппараты как основные структурные и функциональные элементы мембранных систем.	411
9.2.2.	Изменение структуры мембранных систем с целью улучшения показателей разделения.	425
9.3.	Функционирование мембранных систем	428
9.3.1.	Предотвращение загрязнения полупроницаемых мембран . . .	428
9.3.2.	Регенерация полупроницаемых мембран	430
9.3.3.	Снижение интенсивности механических и гидродинамических воздействий на биологические объекты	435
9.3.4.	Улучшение показателей функционирования мембранных систем	440
9.4.	Системное развитие мембранных систем.	446
9.4.1.	Развитие мембранных систем за счет совершенствования их структуры	446
9.4.2.	Развитие мембранных систем за счет совершенствования их организации.	455
9.4.3.	Развитие мембранных систем за счет совершенствования системообразующих элементов	457
9.4.4.	Развитие мембранных систем за счет совершенствования управления	469
	<i>Резюме</i>	472
	<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	473
	Глава 10. Инженерные расчеты мембранного оборудования	474
	10.1. Технологические расчеты мембранных систем	474
	10.2. Конструктивные расчеты мембранных аппаратов	476
	<i>Резюме</i>	477
	<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	478
	ЧАСТЬ III. БИОМЕМБРАННЫЕ ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНВЕРГЕНТНЫХ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	479
	Глава 11. Предпосылки к созданию новых прогрессивных технологий	481
	<i>Резюме</i>	483
	<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	483

Глава 12. Идеальное моделирование как метод, способствующий развитию биотехники	484
12.1. Идеальное моделирование биореакторов для биосинтетических процессов	487
12.2. Идеальное моделирование биокаталитических реакторов	490
<i>Резюме</i>	493
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	493
Глава 13. Мембранные реакторы — новое поколение биотехники	494
13.1. Принцип функционирования мембранного биореактора	495
13.2. Основные типы мембранных биореакторов	496
<i>Резюме</i>	499
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	499
Глава 14. Развитие биореакторов для биосинтетических процессов	500
14.1. Предшественники мембранных биореакторов	500
14.2. Мембранные биореакторы для биосинтетических процессов.	502
14.2.1. Мембранные биореакторы для культивирования микроорганизмов	502
14.2.2. Мембранные биореакторы для бесклеточного биосинтеза.	512
<i>Резюме</i>	515
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	515
Глава 15. Развитие биореакторов для биокаталитических процессов	516
15.1. Предшественники мембранных биокаталитических реакторов	516
15.1.1. Секционированные биокаталитические реакторы с применением свободных биокатализаторов	517
15.1.2. Биокаталитические реакторы с применением иммобилизованных ферментов или клеток	518
15.2. Мембранные биореакторы для биокаталитических процессов	524
15.2.1. Мембранные биореакторы на основе иммобилизованных биокатализаторов	524
15.2.2. Мембранные биореакторы на основе свободных биокатализаторов	525
<i>Резюме</i>	534
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	534

Глава 16. Развитие биомембранных систем ферментационного мониторинга	535
16.1. Биомембранные контрольно-измерительные системы	535
16.2. Биомембранные системы для асептического отбора проб из биореакторов	536
<i>Резюме</i>	<i>537</i>
<i>Контрольные вопросы для самопроверки</i>	<i>537</i>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	538
ПРИЛОЖЕНИЯ	539
А. Справочные материалы к инженерным расчетам биореакторов	539
Б. Алфавитный перечень терминов.	548
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	572
ОБ АВТОРЕ.	575