

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	5
Введение . . . . .	7
Основные условные обозначения . . . . .	9
<b>Глава I. ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ БИОТЕХНОЛОГИИ . . . . .</b>	<b>11</b>
1.1. Типы биотехнологических процессов и основные требования к их реализации . . . . .	13
1.2. Предферментационные процедуры . . . . .	17
1.2.1. Транспорт и дозирование компонентов питательных сред . . . . .	17
1.2.2. Приготовление жидких сред . . . . .	18
1.2.3. Стерилизация питательных сред . . . . .	19
1.2.4. Дозирование жидких стерильных питательных сред и других жидких компонентов: пеногасителей, корректирующих рН растворов, сред для подпитки . . . . .	20
1.2.5. Стерилизация воздуха . . . . .	22
1.3. Проведение процессов ферментации . . . . .	22
1.4. Получение продуктов . . . . .	26
1.4.1. Фракционирование среды ферментации . . . . .	26
1.4.2. Дезинтеграция биомассы . . . . .	27
1.4.3. Получение микробных концентратов . . . . .	33
1.4.4. Получение биомасс (кормовых, ослабленных и живых) . . . . .	34
1.4.5. Получение целевых продуктов различной степени очистки . . . . .	34
1.5. Аппараты и оборудование биотехнологии . . . . .	37
<b>Глава II. ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ В БИОТЕХНОЛОГИИ . . . . .</b>	<b>43</b>
2.1. Принципы классических измерений, применяемых в биотехнологии . . . . .	43
2.1.1. Измерение температуры . . . . .	43
2.1.2. Измерение давления . . . . .	45
2.1.3. Измерение расхода газов и жидкостей . . . . .	46
2.1.4. Измерение скорости вращения мешалки . . . . .	50
2.1.5. Измерение вводимой мощности . . . . .	51
2.1.6. Измерение объема и массы среды ферментации . . . . .	53
2.1.7. Измерение вязкости среды ферментации . . . . .	55
2.1.8. Измерение рН . . . . .	57
2.1.9. Измерение окислительно-восстановительного потенциала . . . . .	61
2.1.10. Измерение концентраций кислорода и диоксида углерода в выходящих газах . . . . .	62
2.2. Измерение величин, специфических для биотехнологии . . . . .	67
2.2.1. Измерение концентрации растворенного кислорода . . . . .	67
2.2.2. Измерение скорости потребления кислорода микроорганизмами в биотехнологических процессах . . . . .	71

2.2.3. Измерение количества растворенного диоксида углерода	76
2.2.4. Измерение уровня пены	77
2.2.5. Измерение концентрации микроорганизмов	78
2.2.6. Измерение концентраций субстратов и продуктов	85
<b>Глава III. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФЕРМЕНТАЦИИ</b>	<b>93</b>
3.1. Физиологические модели	94
3.2. Неструктурные модели	97
<b>Глава IV. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b>	<b>108</b>
4.1. Сущность автоматизированного контроля и основные понятия	108
4.2. Методы и алгоритмы обработки прямых измерений	111
4.2.1. Алгоритмы калибровки датчиков	111
4.2.2. Алгоритмы численного интегрирования показаний датчиков	114
4.2.3. Алгоритмы численного дифференцирования показаний датчиков	116
4.2.4. Снижение уровня помех и алгоритмы цифровой фильтрации	119
4.2.5. Определение статистических характеристик измерений	127
4.2.6. Алгоритмы элиминирования динамической ошибки	128
4.2.7. Выбор цикла опроса измерительных датчиков	130
4.2.8. Примеры реализации алгоритмов обработки прямых измерений в биотехнологических процессах	132
4.3. Алгоритмы и методы косвенных измерений	137
4.3.1. Косвенные измерения на базе статических математических моделей	138
4.3.2. Косвенные измерения на базе моделей динамики объекта	140
4.3.3. Адаптивная система оценки состояния биотехнологического процесса	142
4.3.4. Примеры реализации косвенных измерений	143
<b>Глава V. ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ</b>	<b>148</b>
5.1. Основные принципы построения систем управления с применением классических алгоритмов	148
5.2. Динамические характеристики типовых регуляторов	156
5.3. Примеры применения типовых алгоритмов для управления биотехнологическими процессами	158
5.3.1. Одноконтурные системы управления	158
5.3.2. Системы с компенсацией возмущений	162
5.3.3. Системы каскадного управления	164
5.3.4. Многосвязные системы управления	168
5.4. Настройка регулятора с типовыми алгоритмами	172
5.4.1. Методы настройки по переходной характеристике	173
5.4.2. Методы, основанные на релейной обратной связи	175
<b>Глава VI. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ФЕРМЕНТАЦИИ</b>	<b>178</b>
6.1. Оптимизация периодических процессов ферментации	178
6.1.1. Инженерный метод оптимизации периодических процессов ферментации	187

6.2. Оптимизация полупериодических процессов ферментации . . .	198
6.2.1. Оптимальные профили скорости подпитки . . . . .	203
6.2.2. Вычисление оптимальных профилей . . . . .	214
6.3. Оптимизация непрерывных процессов ферментации . . . . .	226
6.3.1. Оптимизация циклических режимов управления технологическими параметрами непрерывных процессов ферментации . . . . .	228
<b>Глава VII. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ФЕРМЕНТАЦИИ . . . . .</b>	<b>236</b>
7.1. Системы управления, основанные на использовании физиологических моделей процесса ферментации . . . . .	237
7.1.1. Использование дыхательного коэффициента для управления полупериодическим процессом культивирования микроорганизмов . . . . .	237
7.1.2. Управление относительной скоростью потребления кислорода . . . . .	240
7.1.3. Использование скорости выделения углекислого газа для реализации систем управления процессом ферментации . . . . .	241
7.1.4. Комбинированное управление скоростью выделения углекислого газа и дыхательным коэффициентом . . . . .	245
7.2. Системы управления, основанные на линейных моделях и «скользящей» идентификации . . . . .	247
<b>Глава VIII. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ . . . . .</b>	<b>252</b>
8.1. Применение методов теории нечетких множеств для разработки систем контроля и управления . . . . .	253
8.1.1. Биотехнологический процесс — нетрадиционный объект управления . . . . .	253
8.1.2. Качественная информация в системах контроля и управления биотехнологическими процессами . . . . .	254
8.1.3. Формализация качественной информации . . . . .	255
8.1.4. Основы теории нечетких множеств . . . . .	256
8.1.5. Качественное описание поведения системы . . . . .	262
8.1.6. Нечеткие логические регуляторы процессов ферментации . . . . .	265
<b>Глава IX. АППАРАТУРА И РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ . . . . .</b>	<b>271</b>
9.1. Биотехнологическая аппаратура и приборы управления . . . . .	274
9.1.2. Дискретные системы управления . . . . .	296
9.1.3. Определение биосинтетической активности микроорганизмов . . . . .	299
9.2. Пример локальной вычислительной сети для управления биотехнологическими процессами . . . . .	302
9.3. Некоторые разработки последних лет в лабораториях авторов . . . . .	310
9.3.1. Новые исследовательские приборы . . . . .	310
9.3.2. Техника и технология лабораторного и пилотного биотехнологического процесса . . . . .	312
9.3.3. Промышленные биореакторы . . . . .	313
9.3.4. Газовый анализ и его инструментализация . . . . .	314
9.3.5. Переработка отходов и очистка стоков . . . . .	315
9.3.6. Самонастраивающийся регулятор . . . . .	320
Список литературы . . . . .	326
Предметный указатель . . . . .	339
<b>AUTOMATION OF BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES: MEASUREMENTS, OPTIMIZATION AND CONTROL (SUMMARY) . . . . .</b>	<b>341</b>