

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Лужанин Владимир Геннадьевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 20.08.2026 19:52:34
Уникальный программный ключ:
d56ba45a9b6e5c64a319e2c5ae3bb2cdd840aff0

МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермская государственная фармацевтическая академия»
Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кафедра промышленной технологии лекарств с курсом биотехнологии

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.23 Биотехнологические реакторы
(индекс, наименование дисциплины, в соответствии с учебным планом)

Б1.О.23 БТР
(индекс, краткое наименование дисциплины)

19.03.01 Биотехнология
(код, наименование направления подготовки (специальности))

Фармацевтическая биотехнология
(направленность(и) (профиль (и)/специализация(и))

Бакалавр
(квалификация)

Очная
(форма(ы) обучения)

Год набора - 2026

Пермь, 2025 г.

Авторы–составители:

д-р. фармацевт. наук, заведующий кафедрой промышленной технологии лекарств с курсом биотехнологии, профессор Орлова Е.В.

канд. фармацевт. наук, доцент кафедры промышленной технологии лекарств с курсом биотехнологии Мальгина Д.Ю.

Заведующий кафедрой промышленной технологии лекарств с курсом биотехнологии, д-р. фармацевт. наук, профессор Орлова Е.В.

Рассмотрено на заседании кафедры протокол № 4 от «19» октября 2025 г.

Согласовано Центральным методическим советом ФГБОУ ВО ПГФА Минздрава России протокол от 05.12.2025 г. № 2.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	4
2.	Объем и место дисциплины в структуре ОПОП.....	5
3.	Содержание и структура дисциплины	5
4.	Фонд оценочных средств по дисциплине.....	7
5.	Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины.....	11
6.	Учебная литература для обучающихся по дисциплине	11
7.	Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы	12

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения программы

1.1. Дисциплина Б1.О.23 Биотехнологические реакторы обеспечивает овладение следующими компетенциями:

Код компетенции	Наименование компетенции	Код индикатора достижения компетенции	Наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
ОПК-4	Способен проектировать отдельные элементы технических и технологических систем, технических объектов, технологических процессов биотехнологического производства на основе применения базовых инженерных и технологических знаний.	ИДОПК-4.2	Владеет базовыми технологическими навыками для решения задач в области профессиональной деятельности	– сформированы знания: о типах и основах работы биореакторов и их применение в биотехнологических процессах; – сформированы умения: умеет искать подходы для управления биотехнологическими процессами, протекающими в биореакторах, валидации очистки биореакторов;
ОПК-5	Способен эксплуатировать технологическое оборудование, выполнять технологические операции, управлять биотехнологическими процессами, контролировать количественные и качественные показатели получаемой продукции	ИДОПК-5.1	Применяет знания теоретических основ ведения биотехнологических процессов при эксплуатации технологического оборудования, выполнении технологических операций	– сформированы знания: основные методы расчета тепло- и массообменной аппаратуры, требования нормативных документов к трубопроводам, арматуре, тепло- и массообменным аппаратам; – сформированы умения: подбирать типовое емкостное оборудование для культивирования микроорганизмов.

2. Объем и место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.23 Биотехнологические реакторы, относится к обязательной части ОПОП, 3 курс, 6 семестр ее освоения в соответствии с учебным планом, общая трудоемкость дисциплины 144 часа / 4 зачётные единицы (з. е.).

Количество академических часов, выделенных на контактную работу с преподавателем: 80 часов, из них лекций - 28 часов, лабораторных занятий – 52 часа, самостоятельной работы – 28 часов.

Форма промежуточной аттестации в соответствии с учебным планом - экзамен – 36 часа.

3. Содержание и структура дисциплины

3.1. Структура дисциплины.

№ п/п	Наименование тем	Объем дисциплины, час.						Форма текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации
		Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий			СР	контроль	
			Л	Пр	ЛЗ			
Семестр №5								
Тема 1	Классификация биореакторов.	6	2		2	2		Опрос
Тема 2	Массообмен в биореакторах.	6	2		2	2		Опрос
Тема 3	Гидродинамика в биореакторах.	6	2		2	2		Опрос
Тема 4	Кинетика культивирования биосинтеза в биореакторах.	6	2		2	2		Опрос
Тема 5	Математическое моделирование процессов, происходящих в биореакторах	9	2		4	3		Опрос
Тема 6	Стерилизация в биореакторах.	9	2		4	3		Опрос
Тема 7	Очистка биореакторов.	9	2		8	3		Опрос
Тема 8	Квалификационные испытания биореакторов на производстве. Подходы к валидации процессов перемешивания и очистки биореакторов.	9	2		4	3		Опрос
Тема 9	Биореактоы для очистки воздуха.	6	2		2	2		Опрос
Тема 10	Биореакторы для компостирования и анаэробного сбраживания.	6	2		2	1		Опрос

№ п/п	Наименование тем	Объем дисциплины, час.						Форма текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации
		Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий			СР	контроль	
			Л	Пр	ЛЗ			
Тема 11	Мембранные биореакторы.	9	2		4	1		Опрос
Тема 12	Условия оснащённости производства для реакторного культивирования биообъектов	9	2		8	1		Опрос
Тема 13	Биореакторы для культивирования, ферментации, для получения продуктов метаболизма, для фракционирования плазмы.	9	2		4	1		Опрос
Тема 14	Биореакторы в различных отраслях промышленности	9	2		4	2		-
Промежуточная аттестация		36				36		Экзамен
Всего:		144	28		52	64		

3.2. Содержание дисциплины.

Тема 1. Классификация биореакторов.

Тема 2. Массообмен в биореакторах. Понятие массопереноса. Перенос вещества в сплошной фазе. Транспорт газообразного субстрата в ферментационную среду. Модели массопереноса. Массообменные характеристики биохимических реакторов.

Тема 3. Гидродинамика в биореакторах. Гидродинамика биореакторов с механическим перемешиванием среды. Газосодержание. Удельная мощность перемешивания. Удельная межфазная поверхность. Гидродинамика биореакторов колонного типа. Определение диаметра и скорости подъёма газового пузыря.

Тема 4. Микрокинетика процессов в биореакторах. Кинетика роста микробной популяции в биореакторах. Стехиометрия процессов роста микроорганизмов. Зависимость скорости роста микроорганизмов от концентрации субстрата и продукта метаболизма. Кинетика процесса отмирания биомассы. Зависимость кинетики роста микроорганизмов от температуры и pH среды культивирования. Кинетика биосинтеза продуктов метаболизма.

Тема 5. Макрокинетика процессов в биореакторах. Влияние интенсивности массопереноса реагентов в биореакторе на скорость биотехнологического процесса. Лимитирующая стадия биотехнологического процесса и способы её определения. Математическое описание биотехнологического процесса в биореакторе, учитывающее кинетику биохимического превращения и скорость массопередачи реагентов.

Тема 6. Теоретические основы стерилизации биореакторов. Тепловая гибель микроорганизмов. Влияние температуры на удельную скорость гибели микроорганизмов. Экспериментальное определение скорости гибели микроорганизмов. Периодическая стерилизация сред. Непрерывная

стерилизация сред.

Тема 7. Очистка биореакторов. Способы очистки. Выбор способа очистки.

Тема 8. Квалификационные испытания биореакторов на производстве. Валидация процессов, протекающих в биореакторах (перемешивание, очистка). Валидация очистки биореакторов в зависимости от конструктивных особенностей. Рибофлавиновый тест.

Тема 9. Биореакторы для очистки воздуха. Процессы очистки воздуха с использованием биофильтров: конструкции биофильтров, типы насадок, область применения биофильтров, преимущества и недостатки биофильтров. Био-скрубберы для очистки воздуха.

Тема 10. Биореакторы для процессов компостирования и анаэробного сбраживания. Биореакторы для процессов компостирования. Биореакторы для процессов анаэробного сбраживания: характеристика перерабатываемого сырья; химизм процесса анаэробного сбраживания; микроорганизмы, участвующие в процессе анаэробного сбраживания.

Тема 11. Мембранные биореакторы. Принципы функционирования и конструкции мембранных биореакторов. Мембраны для биореакторов. Аэрация в мембранных биореакторах. Массообмен в мембранных биореакторах.

Тема 12. Условия оснащённости производства для реакторного культивирования биообъектов. Масштабные производства с реакторным культивированием.

Тема 13. Биореакторы для культивирования, ферментации и для получения продуктов метаболизма. Биореакторы для поверхностного культивирования биообъектов на твёрдых питательных средах. Биореакторы для глубинного культивирования микроорганизмов: ферментёры с механическим перемешиванием барботажного типа; ферментёры с пневматическим перемешиванием; ферментёры с самовсасывающей мешалкой; горизонтальные ферментёры; колонные ферментёры. Биореакторы для культивирования растительных и животных клеток. Биореакторы для фракционирования плазмы.

Тема 14. Биореакторы в различных отраслях промышленности.

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Формы и оценочные средства для текущего контроля.

4.1.1. В ходе реализации дисциплины Б1.О.23 Биотехнологические реакторы используются следующие формы текущего контроля успеваемости обучающихся: опрос.

4.1.2. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости.

Опрос:

Вопросы по темам

1. Классификация биореакторов

1. Перечислите основные критерии классификации биореакторов (не менее 5).
2. Как делятся биореакторы по рабочему объёму? Укажите диапазоны для лабораторных, пилотных и промышленных моделей.
3. В чём отличие закрытых (периодических) и открытых (непрерывных) биореакторов? Приведите примеры применения.
4. Назовите три группы биореакторов по способу подвода энергии и кратко опишите каждую.
5. Какие типы биореакторов выделяют по способу подачи воздуха? Для каких микроорганизмов они предназначены?

6. Что такое комбинированные (аэробно-анаэробные) биореакторы? В каких процессах их используют?
7. Приведите примеры специализированных биореакторов (для клеточных культур, анаэробных процессов и т. п.) и объясните их особенности.

2. Массообмен в биореакторах

1. Что понимается под массообменом в биореакторе? Какие вещества участвуют в обмене?
2. Какие факторы влияют на скорость массопереноса кислорода в культуральной среде?
3. Что такое коэффициент массопередачи KLa ? Как его определяют экспериментально?
4. Почему недостаточный массообмен может ограничивать рост микроорганизмов?
5. Как интенсивность аэрации влияет на массообмен? Приведите количественные ориентиры (например, объём воздуха на объём среды в час).
6. Какие конструктивные элементы биореактора улучшают массообмен (не менее 3)?
7. Как контролируют уровень растворенного кислорода в биореакторе? Назовите методы и датчики.

3. Гидродинамика в биореакторах

1. Что изучает гидродинамика биореакторов? Какие параметры она описывает?
2. Как перемешивание влияет на однородность среды в биореакторе?
3. Перечислите типы мешалок, применяемых в биореакторах, и укажите их преимущества/недостатки.
4. Что такое циркуляционный контур в биореакторе? Как он формируется?
5. Как вязкость среды влияет на гидродинамику потока? Приведите примеры вязких субстратов.
6. Что такое зона застоя? Почему её стремятся минимизировать?
7. Как моделируют гидродинамику биореактора (методы, ПО, критерии подобия)?

4. Кинетика культивирования и биосинтеза в биореакторах

1. Что такое кинетика роста микроорганизмов? Какие фазы роста выделяют?
2. Запишите уравнение Моно для удельной скорости роста μ . Объясните смысл параметров.
3. Как концентрация субстрата влияет на скорость роста? Что такое ингибирование субстратом?
4. В чём отличие кинетики роста от кинетики биосинтеза продукта?
5. Как температура и pH влияют на кинетические параметры процесса?
6. Что такое выход биомассы (YX/S)? Как его рассчитывают?
7. Приведите пример кинетической модели для продуцента антибиотиков или ферментов.

5. Математическое моделирование процессов в биореакторах

1. Какие процессы в биореакторе поддаются математическому описанию (перечислите 4–5)?
2. Что включает система дифференциальных уравнений для моделирования роста культуры?
3. Как учитывают массоперенос кислорода в модели биореактора?
4. Какие программные пакеты используют для моделирования биореакторных процессов?
5. Что такое масштабирование модели? Какие критерии подобия применяют?
6. Как верифицируют математическую модель биореактора (этапы, данные, критерии)?
7. Приведите пример упрощённой модели для периодического культивирования.

6. Стерилизация в биореакторах

1. Какие элементы биореактора подлежат стерилизации? Перечислите.
2. Опишите метод SIP (Sterilization in Place). Какие параметры режима (температура, время, давление)?

3. Чем отличается SIP от CIP (Cleaning in Place)?
4. Как контролируют эффективность стерилизации биореактора? Назовите 2–3 метода.
5. Какие индикаторы используют для валидации стерилизации?
6. Почему важно удалять остатки стерилизующих агентов перед засевом культуры?
7. Как стерилизуют датчики и трубопроводы биореактора?

7. Очистка биореакторов

1. Какие загрязнения накапливаются в биореакторе после цикла культивирования?
2. Перечислите этапы CIP-очистки биореактора.
3. Какие моющие растворы применяют (кислотные, щелочные, ферментные)? Для чего каждый тип?
4. Как контролируют полноту очистки (критерии, методы анализа)?
5. Что такое остаточные белки и эндотоксины? Почему их удаляют?
6. Как очищают внутренние поверхности сложной геометрии (углы, сварные швы)?
7. Какие меры предотвращают коррозию биореактора при очистке?

8. Квалификационные испытания биореакторов на производстве. Подходы к валидации процессов перемешивания и очистки

1. Что включает квалификация биореактора (DQ, IQ, OQ, PQ)? Опишите каждый этап.
2. Какие параметры проверяют при IQ (Installation Qualification)?
3. Что тестируют на этапе OQ (Operational Qualification)? Приведите 3–4 примера.
4. Как валидируют процесс перемешивания (методы, критерии, индикаторы)?
5. Что такое микс-тест? Как его проводят?
6. Как подтверждают равномерность температуры и pH в объеме биореактора?
7. Какие документы оформляют по итогам квалификации и валидации?

9. Биореакторы для очистки воздуха

1. В каких процессах применяют биореакторы для очистки воздуха? Приведите 2–3 примера.
2. Какие микроорганизмы используют для биodeградации летучих загрязнителей?
3. Как устроен биофильтр для очистки воздуха? Назовите основные компоненты.
4. Что такое биоскруббер? Чем он отличается от биофильтра?
5. Какие параметры контролируют при биоочистке воздуха (не менее 4)?
6. Как поддерживают влажность и температуру в биореакторе для очистки воздуха?
7. Приведите пример промышленного применения биореакторов для очистки выбросов.

10. Биореакторы для компостирования и анаэробного сбраживания

1. В чём отличие аэробного компостирования от анаэробного сбраживания?
2. Какие продукты получают в анаэробных биореакторах?
3. Какие субстраты подходят для анаэробного сбраживания (перечислите 4–5)?
4. Как контролируют pH и щелочность в метантенке? Почему это важно?
5. Что такое гидролизно-кислотная фаза и метаногенная фаза? Какие микроорганизмы в них участвуют?
6. Как удаляют биогаз из анаэробного биореактора? Какие системы сбора применяют?
7. Приведите пример крупномасштабного биореактора для переработки отходов.

11. Мембранные биореакторы

1. В чём особенность мембранного биореактора (МБР) по сравнению с обычным?
2. Какие мембраны применяют в МБР (типы, материалы, размеры пор)?
3. Как мембрана влияет на удержание биомассы и очистку пермеата?
4. Каковы преимущества МБР для очистки сточных вод?

5. Какие проблемы (забивание пор, биообрастание) возникают в МБР? Как их решают?
6. Как регенерируют мембраны в МБР? Назовите 2–3 метода.
7. Приведите пример применения МБР в фармацевтической или пищевой промышленности.

12. Условия оснащённости производства для реакторного культивирования биообъектов

1. Какие инженерные системы обязательны для биореакторного цеха (не менее 5)?
2. Как обеспечивают подачу стерильного воздуха и газов?
3. Какие системы контроля и автоматизации используют (датчики, контроллеры, SCADA)?
4. Как организуют холодоснабжение и нагрев биореакторов?
5. Какие требования к чистоте помещений (классы чистоты) для разных стадий культивирования?
6. Как проектируют трубопроводы и арматуру для стерильных процессов?
7. Что включает резервное электроснабжение и аварийные системы биореакторного производства?

13. Биореакторы для культивирования, ферментации, для получения продуктов метаболизма, для фракционирования плазмы

1. Чем отличаются биореакторы для культивирования клеток от ферментеров для синтеза метаболитов?
2. Какие особенности биореакторов для культивирования животных/растительных клеток?
3. Как поддерживают низкий уровень shear stress в биореакторах для чувствительных клеток?
4. Какие биореакторы применяют для получения вторичных метаболитов (антибиотиков, ферментов)?
5. В чём специфика биореакторов для фракционирования плазмы крови?
6. Как разделяют продукт и биомассу в биореакторной системе (методы, оборудование)?
7. Приведите пример биореактора для непрерывного получения рекомбинантного белка.

14. Биореакторы в различных отраслях промышленности

1. Перечислите 5 отраслей, где применяют биореакторы, и укажите целевые продукты для каждой.
2. Как отличаются биореакторы для фармацевтики и пищевой промышленности?
3. Какие биореакторы используют в производстве

4.1.3. Шкала оценивания для текущего контроля.

Опрос:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся при полном ответе на вопрос, правильном использовании терминологии, уверенных ответах на дополнительные вопросы;
- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся при полном ответе на вопрос, наличии ошибок в терминологии, неуверенных ответах на дополнительные вопросы;
- оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся при неполном ответе на вопрос, наличии ошибок в терминологии, неуверенных ответах на дополнительные вопросы;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся при отсутствии ответа.

4.2. Формы и оценочные средства для промежуточной аттестации.

4.2.1. Критерии оценки сформированности компетенций в рамках промежуточной аттестации по учебному предмету, дисциплине (модулю)

Код компетенции	Код индикатора достижения компетенции	Структурные элементы оценочных средств	Критерии оценки сформированности компетенции	
			Не сформирована	Сформирована
ОПК-4	ИДОПК-4.2	Тест	На уровне знаний: Не знает типы и основы работы биореакторов и их применение в биотехнологических процессах; На уровне умений: Не умеет искать подходы управления биотехнологическими процессами, протекающими в биореакторах, валидации очистки биореакторов;	На уровне знаний: знает типы и основы работы биореакторов и их применение в биотехнологических процессах; На уровне умений: умеет искать подходы управления биотехнологическими процессами, протекающими в биореакторах, валидации очистки биореакторов;
ОПК-5	ИДОПК-5.1	Тест	На уровне знаний: Не знает основные методы расчета тепло- и массообменной аппаратуры, требования нормативных документов к трубопроводам, арматуре, тепло- и массообменным аппаратам; На уровне умений: Не умеет подбирать типовое емкостное оборудование для культивирования микроорганизмов.	На уровне знаний: Знает основные методы расчета тепло- и массообменной аппаратуры, требования нормативных документов к трубопроводам, арматуре, тепло- и массообменным аппаратам; На уровне умений: умеет подбирать типовое емкостное оборудование для культивирования микроорганизмов.

Компетенция считается сформированной на уровне требований к дисциплине (модулю) в соответствии с образовательной программой, если по итогам применения оценочных средств промежуточной аттестации или их отдельных элементов результаты, демонстрируемые обучающимся, отвечают критерию сформированности компетенции.

Если по итогам проведенной промежуточной аттестации хотя бы одна из компетенций не сформирована на уровне требований к дисциплине (модулю) в соответствии с образовательной программой, результаты обучающегося не соответствуют критерию сформированности компетенции.

4.2.2. Промежуточная аттестация проводится в форме: зачет

Промежуточная аттестация экзамен проводится в форме теста. Критерием допуска к экзамену является посещение всех лекций, выполнение практических заданий.

4.2.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации.

Пример вопроса теста:

По принципу устройства мембранный биореактор представляет собой:

- a. Реактор с текстильной мембраной, проницаемой для водной фазы.
- b. Реактор, имеющий корпус и полупроницаемую полимерную мембрану-мешок, герметично закрепленную внутри реактора**
- c. Реактор, имеющий корпус и полупроницаемую полимерную мембрану, герметично закрепленную снаружи реактора
- d. Реактор, разделенный внутри пористой перегородкой.

4.2.4. Шкала оценивания.

Тест:

дифференцированная оценка:

90 -100 % правильных ответов – оценка «отлично»,

75 - 89 % правильных ответов – оценка «хорошо»,

60- 74 % правильных ответов – оценка «удовлетворительно»,

0 – 59 % правильных ответов – оценка «неудовлетворительно».

4.3. Соответствие оценочных средств промежуточной аттестации по дисциплине формируемым компетенциям

Код компетенции	Код индикатора достижения компетенции	Оценочные средства промежуточной аттестации
		Тест
ОПК-4	ИДОПК-4.2	+
ОПК-5	ИДОПК-5.1	+

5. Методические материалы по освоению дисциплины

Методические материалы по дисциплине (Приложение 1).

6. Учебная литература для обучающихся по дисциплине

1. Биотехнология : учебник / под ред. В. А. Колодязной, М. А. Самотруевой. - Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2025. - 384 с. - ISBN 978-5-9704-8839-3. - Электронная версия доступна на сайте ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970488393.html>

7.

8. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для проведения лекционных и практических занятий используются учебные аудитории, оснащенные специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для

представления учебной информации большой аудитории. Аудитория оснащена ноутбуком, проектором. Кроме этого у студента есть возможность доступа в интернет, к базам данных электронных библиотек в компьютерном классе. Аудитория (№24) и компьютерный класс (№1) расположены в корпусе по адресу г. Пермь, ул. Крупской, 46, ауд.24.

Инвентарные номера оборудования в аудитории 24: ноутбук: 0130006446, проектор: 013006782.

АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.23 Биотехнологические реакторы

Код и наименование направления подготовки, профиля: 19.03.01 Биотехнология, Фармацевтическая биотехнология.

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Формируемые компетенции:

ОПК-4 Способен проектировать отдельные элементы технических и технологических систем, технических объектов, технологических процессов биотехнологического производства на основе применения базовых инженерных и технологических знаний.

ОПК-5 Способен эксплуатировать технологическое оборудование, выполнять технологические операции, управлять биотехнологическими процессами, контролировать количественные и качественные показатели получаемой продукции

Объем и место дисциплины в структуре ОПОП.

Дисциплина Б1.О.23 Биотехнологические реакторы, относится к вариативной части ОПОП, 3 курс, 6 семестр ее освоения в соответствии с учебным планом, общая трудоемкость дисциплины 144 часа / 4 зачётные единицы (з. е.).

Форма промежуточной аттестации в соответствии с учебным планом - экзамен – 36 часов.

План дисциплины:

Тема 1. Классификация биореакторов.

Тема 2. Массообмен в биореакторах.

Тема 3. Гидродинамика в биореакторах.

Тема 4. Микрокинетика процессов в биореакторах.

Тема 5. Макрокинетика процессов в биореакторах.

Тема 6. Теоретические основы стерилизации биореакторов.

Тема 7. Очистка биореакторов.

Тема 8. Квалификационные испытания биореакторов на производстве.

Тема 9. Биореакторы для очистки воздуха.

Тема 10. Биореакторы для процессов компостирования и анаэробного сбраживания.

Тема 11. Мембранные биореакторы.

Тема 12. Условия оснащённости производства для реакторного культивирования биообъектов. Масштабные производства с реакторным культивированием.

Тема 13. Биореакторы для культивирования, ферментации и для получения продуктов метаболизма.

Тема 14. Биореакторы в различных отраслях промышленности.

Формы промежуточной аттестации: экзамен-тест