

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Лужанин Владимир Геннадьевич  
Должность: исполняющий обязанности ректора  
Дата подписания: 08.02.2022 13:55:00  
Уникальный программный ключ:  
4f6042f92f26818253a667205646475b97807ac6

**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

УТВЕРЖДЕНА  
решением кафедры  
Протокол от «29» июня 2017 г.  
№ 15

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ОД.6 Биотехнологические реакторы  
*(индекс, наименование дисциплины, в соответствии с учебным планом)*

Б1.В.ОД.6 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 - 2018

Пермь, 2017 г.

**Авторы–составители:**

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

*(ученая степень и(или) ученое звание, должность)*

Орлова Е.В.  
*(Ф.И.О.)*

канд. фармацевт. наук, старший преподаватель  
кафедры промышленной технологии лекарств  
с курсом биотехнологии

*(ученая степень и(или) ученое звание, должность)*

Мальгина Д.Ю.  
*(Ф.И.О.)*

Заведующий кафедрой промышленной технологии

лекарств с курсом биотехнологии, д-р. фармацевт. наук, профессор

*(наименование кафедры полностью)*

*(ученая степень и(или) ученое звание )*

Орлова Е.В.  
*(Ф.И.О.)*

## СОДЕРЖАНИЕ

1.	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	4
2.	Объем и место дисциплины в структуре ОПОП.....	4
3.	Содержание и структура дисциплины .....	4
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 и информационные справочные системы .....	11

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

1.1. Дисциплина Б1.В.ОД.6 Биотехнологические реакторы обеспечивает овладение следующими компетенциями:

ПК-1 способность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров биотехнологических процессов, свойств сырья и продукции, формируется данной дисциплиной частично.

ПК-2 способность к реализации и управлению биотехнологическими процессами, формируется данной дисциплиной частично.

1.2. В результате освоения дисциплины у студентов должны быть:

ПК-1:

- сформированы знания: о типах и основах работы биореакторов и их применение в биотехнологических процессах;
- сформированы умения: реализации и управления биотехнологическими процессами, протекающими в биореакторах, валидации очистки биореакторов;
- сформированы навыки: математического моделирование мембранного биореактора.

ПК-2:

- сформированы знания: основные методы расчета тепло- и массообменной аппаратуры, требования нормативных документов к трубопроводам, арматуре, тепло- и массообменным аппаратам;
- сформированы умения: выполнять технологические расчеты массообменных аппаратов, подбирать типовое емкостное оборудование для культивирования микроорганизмов;
- сформированы навыки: проведения анализа рисков при подборе оборудования для биотехнологических процессов, в т. ч. биореакторов для культивирования микроорганизмов.

## 2. Объем и место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ОД.6 Биотехнологические реакторы, относится к вариативной части ОПОП, 3 курс, 5 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: 72 часа, из них лекций - 28 часов, лабораторных занятий – 44 часа, самостоятельной работы – 36 часов.

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

Дисциплина реализуется после изучения дисциплин: Б1.В.ДВ.2.1 Методы биохимических исследований, Б1.В.ДВ.2.2 Микробиологические методы исследования в оценке качества лекарственных средств, Б2.У.1 Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков.

## 3. Содержание и структура дисциплины

3.1. Структура дисциплины.

№ п/п	Наименование тем	Объем дисциплины, час.	Форма текущего
-------	------------------	------------------------	----------------

		Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий			СР	ПА*	контроля успеваемости, промежуточной аттестации
			Л	ЛЗ	ПЗ			
<b>Очная форма обучения</b>								
<b>Семестр №5</b>								
Тема 1	Классификация биореакторов.	6	2	2		2		Семинар
Тема 2	Массообмен в биореакторах.	6	2	2		2		Тест
Тема 3	Гидродинамика в биореакторах.	6	2	2		2		Семинар
Тема 4	Кинетика культивирования и биосинтеза в биореакторах.	6	2	2		2		Семинар
Тема 5	Математическое моделирование процессов, происходящих в биореакторах	9	2	4		3		Семинар
Тема 6	Стерилизация в биореакторах.	9	2	4		3		Семинар
Тема 7	Очистка биореакторов.	9	2	4		3		Семинар
Тема 8	Квалификационные испытания биореакторов на производстве. Подходы к валидации процессов перемешивания и очистки биореакторов.	9	2	4		3		Протокол и отчет о валидации очистки Коллоквиум №1
Тема 9	Биореакторы для очистки воздуха.	6	2	2		2		Семинар
Тема 10	Биореакторы для компостирования и анаэробного сбраживания.	6	2	2		2		Семинар
Тема 11	Мембранные биореакторы.	9	2	4		3		Семинар Протокол моделирования
Тема 12	Условия оснащения производства для реакторного культивирования биообъектов	9	2	4		3		Семинар
Тема 13	Биореакторы для культивирования, ферментации, для получения продуктов метаболизма, для фракционирования плазмы.	9	2	4		3		Тест
Тема 14	Биореакторы в различных отраслях промышленности	9	2	4		3		Коллоквиум №2

№ п/п	Наименование тем	Объем дисциплины, час.					Форма текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	
		Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий			СР		ПА*
			Л	ЛЗ	ПЗ			
	Промежуточная аттестация	36					36	Экзамен
	<b>Всего:</b>	<b>144</b>	<b>28</b>	<b>44</b>		<b>36</b>	<b>36</b>	

### 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 материалы текущего контроля.

4.1.1. В ходе реализации дисциплины Б1.В.ОД.6 Биотехнологические реакторы используются следующие формы текущего контроля успеваемости обучающихся: семинар, тест, протокол моделирования, протокол и отчет валидации очистки, коллоквиум.

4.1.2. Материалы текущего контроля успеваемости.

Семинар:

1. Приведите один из способов классификации биореакторов.
2. Каким образом осуществляется массообмен в биореакторах. Перечислите массообменные характеристики биохимических реакторов.
3. Какие гидродинамические показатели, характерные для функционирующих биореакторов, вы можете перечислить.
4. Перечислите микрокинетические показатели процессов в биореакторах. Охарактеризуйте кинетику роста микробной популяции в биореакторах.
5. Перечислите макрокинетические показатели процессов в биореакторах. Как влияет интенсивность массопереноса реагентов в биореакторе на скорость биотехнологического процесса? Опишите лимитирующую стадию биотехнологического процесса и способы её определения. Какие существуют математические способы описания биотехнологического процесса в биореакторе, учитывающее кинетику биохимического превращения и скорость массопередачи реагентов?
6. Для чего используется стерилизация биореакторов? Как оказывает влияние температура на удельную скорость гибели микроорганизмов. Перечислите способы стерилизации сред.
7. Какие способы очистки биореакторов вы знаете. Как правильно выбрать способ очистки биореактора в зависимости от его критичности на производстве?
8. Перечислите квалификационные испытания биореакторов на производстве. Что означает термин «Валидация очистки»? Для чего используется рибофлавиновый тест.
9. Охарактеризуйте устройство биореакторов для очистки воздуха.
10. Охарактеризуйте устройство биореакторов для процессов компостирования и анаэробного сбраживания. Охарактеризуйте устройство биореакторов для процессов компостирования.
11. Охарактеризуйте устройство мембранных биореакторов.
12. Перечислите условия оснащённости производства для реакторного культивирования биообъектов.

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

Тест:

Пример типовых вопросов теста, в каждом задании 1 правильный ответ.

Выберите правильный ответ.

Стадия валидации процесса очистки имеет условное обозначение:

- a. DQ
- b. OQ
- c. PQ
- d. PV

Принцип устройства мембранного биореактора:

- 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.

Протокола и отчета о валидации очистки:

Студентам предлагается алгоритм проведения валидации и бланк протокола и отчета валидации очистки с использованием рибофлавинового теста с целью заполнения всех пустых граф на основании знаний, полученных в ходе изучения темы и самостоятельной работы, в частности, определить критерии приемлемости, рабочий метод и т.д. В результате студент должен сформулировать выводы по валидации очистки. Защита отчета проходит в устной форме.

Протокол моделирования:

Выполнение работы связано с изучением свойств клеток яичников китайского хомячка СНО (Chinese Hamster Ovary) и подбором мембранного биореактора для их культивирования с применением результатов математического моделирования.

Задачи работы:

1. Разработать кинетическую модель роста клеток СНО на основе данных о росте клеток на чашках Петри.
2. Сравнить зависимости, полученные для кинетической модели и экспериментальных данных.
3. Рассчитать расход среды, поток пермеата, количество метаболитов клеток.
4. Ознакомиться со схемой экспериментальной установки с полуволоконным мембранным биореактором, предназначенной для культивирования клеток СНО

Исходные данные:

Доза засева на одну чашку Петри  $X_0 = 2 \cdot 10^5$  шт.

Исходная концентрация глюкозы (лимитирующий субстрат) составляет 29,7 ммоль/л

$M = 180$  г/моль - молярная масса глюкозы.

Коллоквиум.

Пример типового билета коллоквиума:

#### Билет 1

1. Перечислите классификацию биореакторов.
2. Опишите кинетику биосинтеза продуктов метаболизма микроорганизмов.
3. Способы и режимы реакторной стерилизации жидких сред. Принцип действия стерилизаторов. Основы квалификации реактора-стерилизатора.

#### 4.1.3. Шкала оценивания для текущего контроля.

Семинар:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся при полном ответе на вопрос, правильном использованием 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.

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».

Протокол моделирования

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если выполнены правильно все задачи протокола, показан ход решения задач, по каждой задаче сделаны логические выводы в заключении работы.
- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если выполнены правильно все задачи протокола, но ход решения задач описан не полно, по каждой задаче сделаны логические выводы в заключении работы.
- оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если есть существенные ошибки в решении задач, ход решения задач описан не верно, не по всем задачам сделаны логические выводы в заключении работы.
- оценка «неудовлетворительно» выставляется, если обучающийся выполнил все задания неверно, не сделал выводов по каждой задаче; а также в случае, если обучающий не оформил протокол моделирования в надлежащем виде.

Протокол и отчет валидации очистки:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если правильно оформлены все пункты протокола и отчета, показан логический ход работ, при защите протокола и отчета валидации очистки обучающийся логически рассуждает, делает правильные выводы, а также правильно отвечает на все поставленные преподавателем вопросы.
- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если правильно оформлены все пункты протокола и отчета, показан логический ход работ, при защите о протокола и отчета валидации очистки обучающийся логически рассуждает, делает правильные выводы, но не правильно отвечает на некоторые поставленные преподавателем вопросы.
- оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если есть существенные ошибки в оформлении протокола и отчета валидации очистки, но ход работ обучающийся понимает верно, но не правильно отвечает на некоторые поставленные преподавателем вопросы.
- оценка «неудовлетворительно» выставляется, если обучающийся неверно оформил протокол и отчет о валидации очистки, не может описать ход работы, описанной в протоколе, не может сделать выводы, а также не может ответить на вопросы преподавателя; а также в случае, если обучающийся не оформил протокол и отчет о валидации очистки в надлежащем виде.

Коллоквиум:

- 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 материалы промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена. Критерием допуска к экзамену является посещение всех лекций, выполнение протокола моделирования и защита протокола и отчета о валидации очистки.

##### 4.2.1. Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

##### 4.2.2. Оценочные средства для промежуточной аттестации.

Примеры типовых билетов промежуточной аттестации:

###### Билет 1

1. Приведите один из способов классификации биореакторов.
2. Каким образом осуществляется массообмен в биореакторах. Перечислите массообменные характеристики биохимических реакторов.
3. Какие гидродинамические показатели, характерные для функционирующих биореакторов, вы можете перечислить.

###### Билет 2

1. Перечислите микрокинетические показатели процессов в биореакторах. Охарактеризуйте кинетику роста микробной популяции в биореакторах.
2. Перечислите макрокинетические показатели процессов в биореакторах. Как влияет интенсивность массопереноса реагентов в биореакторе на скорость биотехнологического

процесса?

3. Опишите лимитирующую стадию биотехнологического процесса и способы её определения. Какие существуют математические способы описания биотехнологического процесса в биореакторе, учитывающее кинетику биохимического превращения и скорость массопередачи реагентов?

#### 4.2.3. Шкала оценивания.

Экзамен.

- 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.

### 5. Методические материалы по освоению дисциплины

Методические материалы для обучающихся на дисциплине Б1.В.ОД.6 Биотехнологические реакторы (полный комплект методических материалов находится на кафедре промышленной технологии лекарств с курсом биотехнологии).

### 6. Учебная литература и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" для обучающихся по дисциплине

6.1. Основная литература.

1. Федосеев, К.Г. Процессы и аппараты биотехнологии и химико-фармацевтической промышленности [Текст] : учебное пособие / К. Г. Федосеев. - Москва : Медицина, 1969. - 200 с.
2. Основы фармацевтической биотехнологии: учебное пособие / Прищеп Т.П., Чучалин В.С. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006, 40 с.

6.2. Дополнительная литература.

1. «Правила надлежащей производственной практики», утвержденные приказом Минпромторга №916 от 14.06.2013г., находится в открытом доступе в сети в системе Consultant.ru

### 7. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение 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.В.ОД.5 Биотехнологические реакторы

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

**Квалификация выпускника:** бакалавр.

**Форма обучения:** очная.

**Формируемые компетенции:**

Дисциплина Б1.В.ОД.5 Биотехнологические реакторы обеспечивает овладение следующими компетенциями:

ПК-1 способность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров биотехнологических процессов, свойств сырья и продукции, формируется данной дисциплиной частично.

ПК-2 способность к реализации и управлению биотехнологическими процессами, формируется данной дисциплиной частично.

**В результате освоения дисциплины у студентов должны быть:**

ПК-1:

- сформированы знания: о типах и основах работы биореакторов и их применение в биотехнологических процессах;
- сформированы умения: реализации и управления биотехнологическими процессами, протекающими в биореакторах, валидации очистки биореакторов;
- сформированы навыки: математического моделирование мембранного биореактора.

ПК-2:

- сформированы знания: основные методы расчета тепло- и массообменной аппаратуры, требования нормативных документов к трубопроводам, арматуре, тепло- и массообменным аппаратам;
- сформированы умения: выполнять технологические расчеты массообменных аппаратов, подбирать типовое емкостное оборудование для культивирования микроорганизмов;
- сформированы навыки: проведения анализа рисков при подборе оборудования для биотехнологических процессов, в т. ч. биореакторов для культивирования микроорганизмов.

**Объем и место дисциплины в структуре ОПОП.**

Дисциплина Б1.В.ОД.6 Биотехнологические реакторы, относится к вариативной части ОПОП, 3 курс, 5 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: 72 часа, из них лекций - 28 часов, лабораторных занятий – 44 часа, самостоятельной работы – 36 часов.

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 текущего контроля и промежуточной аттестации:

Семинар, тест, протокол моделирования, протокол и отчет о валидации очистки, коллоквиум.