

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«Тверской государственный технический университет»**  
(ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

по учебной работе

Э.Ю. Майкова

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)»

**«Процессы и аппараты биотехнологии»**

Направление подготовки бакалавров 19.03.01 Биотехнология

Направленность (профиль) – Промышленная биотехнология

Тип задач профессиональной деятельности – производственно-технологический

Форма обучения – очная и заочная

Химико-технологический факультет

Кафедра «Биотехнологии, химии и стандартизации»

Тверь 20\_\_

Рабочая программа дисциплины соответствует ОХОП подготовки бакалавров в части требований к результатам обучения по дисциплине и учебному плану.

Разработчик программы:  
профессор кафедры БХС

В.Ю. Долуда

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры БХС  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ г., протокол № \_\_\_\_.

Заведующий кафедрой

М.Г. Сульман

Согласовано:  
Начальник учебно-методического  
отдела УМУ

Д.А.Барчуков

Начальник отдела  
комплектования  
зональной научной библиотеки

О.Ф. Жмыхова

## **1. Цель и задачи дисциплины**

**Целью** изучения дисциплины «Процессы и аппараты биотехнологии» является подготовка студента к рациональному выбору конструкции и научному расчету машин и аппаратов биотехнологии, а также методам целесообразной промышленной эксплуатации этого производственного оборудования для достижения максимальной производительности при минимальных затратах.

**Задачами дисциплины** являются:

- приобретение знаний о физико-химических закономерностях и кинетике процессов и аппаратов биотехнологии, конструкции аппаратов и принципиальных схемах основных процессов биотехнологии, структурных элементах инженерного расчета оборудования в их единстве и взаимозависимости;

- овладение основными методами расчета типовых аппаратов биотехнологии; методами инженерного расчета оборудования;

- формирование способности владеть культурой мышления, быть способным к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке созданию биотехнологических производств;

- формирование способности систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия;

- формирование способности осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров биотехнологических процессов, свойств сырья и продукции;

- формирование способности применять полученные знания, умения и навыки для реализации и управления биотехнологическими процессами.

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к обязательной дисциплине Блока 1 ОП ВО. Для изучения курса требуются знания, умения и навыки, полученные в процессе изучения дисциплин: «Математика», «Общая химическая технология», «Прикладная механика», «Электротехника и электроника».

Знания, полученные в данном курсе необходимы для последующего изучения таких дисциплин учебного процесса, как «Фармацевтическая биотехнология», «Технология синтеза и биосинтеза биологически активных веществ», «Технология синтеза витаминов и коферментов», «Проектирование и оборудование предприятий химической промышленности». Приобретенные знания в рамках данной дисциплины необходимы в дальнейшем при подготовке выпускной квалификационной работы.

## **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

### **3.1 Планируемые результаты обучения по дисциплине**

**Компетенция, закрепленная за дисциплиной в ОХОП:**

**УК-1.** Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.

**Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:**

**ИУК-1.2.***Осуществляет поиск и критический анализ необходимой информации, обобщает результаты анализа для решения поставленной задачи.*

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

31.1. Основные закономерности и способы математического описания технологических процессов и их совокупностей.

**Уметь:**

У1.1. Обобщать результаты анализа литературных данных, полученных в ходе изучения предмета, с целью объективного математического описания изучаемых технологических процессов и их совокупностей.

**Компетенция, закреплённая за дисциплиной в ОХОП:**

**УК-2.** Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.

**Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:**

**ИУК-2.1.***Определяет совокупность задач в рамках поставленной цели проекта.*

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

32.1. Расчетные методы перехода от процесса в лабораторных условиях к промышленным.

**Уметь:**

У2.1. Проводить планирование выбора рациональных технологических режимов эксплуатации действующих производств.

**Компетенция, закреплённая за дисциплиной в ОХОП:**

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

**Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:**

**ИОПК-4.1.***Использует знание основных принципов организации химического и биотехнологического производства, его иерархической структуры, общих закономерностей организации и реализации химических и биотехнологических процессов, основных биотехнологических производств на основе применения базовых инженерных и технологических знаний.*

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

33.1. Основные принципы организации химического и биотехнологического производства, его иерархической структуры, общие закономерности организации и реализации химических и биотехнологических процессов, основы биотехнологического производства.

**Уметь:**

У3.1. Использовать технические средства для контроля параметров биотехнологического процесса, свойств сырья и готовой продукции.

**ИОПК-4.2.** Демонстрирует умение рассчитывать и проектировать основные характеристики биотехнологического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта и оценивать технологическую эффективность производства.

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

34.1. Основные характеристики биотехнологического процесса, рациональную схему производства заданного продукта и правила оценки технологической эффективности производства.

**Уметь:**

У4.1. Проводить расчеты основных параметров биотехнологического производства.

**ИОПК-4.3.** Проводит выбор оптимального типа реактора и рассчитывает технологические параметры для заданного процесса.

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

35.1. Типы реакторов, применяемые в биотехнологии. Оптимальные параметры биотехнологического производства, обеспечивающие эффективное ведение процесса получения целевого продукта.

**Уметь:**

У5.1. Проводить выбор оптимального типа реактора и рассчитывать технологические параметры для заданного процесса.

**Компетенция, закрепленная за дисциплиной в ОХОП:**

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

**Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:**

**ИОПК-5.1.** Владеет навыками эксплуатации технологического оборудования, выполнения технологических операций и управления биотехнологическими процессами.

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

36.1. Основные приемы эксплуатации технологического оборудования, алгоритм проведения технологических операций, основные особенности биотехнологических процессов.

**Уметь:**

У6.1. Выполнять технологические операции и управлять биотехнологическими процессами.

**ИОПК-5.2.** Выбирает технические средства, методы испытаний для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции.

### **Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

#### **Знать:**

37.1 Перечень технических средств, методов испытаний для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции.

#### **Уметь:**

У7.1.Выбирать технические средства, методы испытаний для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции.

**ИОПК-5.3.** *Владеет навыками контроля количественных и качественных показателей получаемой биотехнологической продукции.*

### **Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

#### **Знать:**

38.1 Методы контроля количественных и качественных показателей получаемой биотехнологической продукции.

#### **Уметь:**

У8.1. Проводить соответствие оцениваемых параметров биотехнологического процесса с нормативно-технической документацией с целью контроля количественных и качественных показателей получаемой биотехнологической продукции.

### **3.2. Технологии, обеспечивающие формирование компетенций**

Проведение лекционных занятий; выполнение лабораторных работ; выполнение практических работ; выполнение курсовой работы; самостоятельная работа под руководством преподавателя.

## **4. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ**

Таблица 1а. Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Зачетные единицы</b>	<b>Академические часы</b>
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	5	180
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>		105
В том числе:		
Лекции		45
Практические занятия (ПЗ)		30
Лабораторные работы (ЛР)		30
<b>Самостоятельная работа обучающихся (всего)</b>		39+36(экз)
В том числе:		
Курсовая работа		19
Курсовой проект		не предусмотрен
Расчетно-графические работы		не предусмотрены
Другие виды самостоятельной работы: - подготовка к практическим занятиям - подготовка к лабораторным занятиям		5 5
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (зачет)		не предусмотрен
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (экзамен)		10+36(экз)
<b>Практическая подготовка при реализации дисциплины (всего)</b>		0

## ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 1б. Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы

Вид учебной работы	Зачетные единицы	Академические часы
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	5	180
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>		22
В том числе:		
Лекции		8
Практические занятия (ПЗ)		14
Лабораторные работы (ЛР)		не предусмотрены
<b>Самостоятельная работа обучающихся (всего)</b>		149+9(экз)
В том числе:		
Курсовая работа		40
Курсовой проект		не предусмотрен
Расчетно-графические работы		не предусмотрены
Другие виды самостоятельной работы: - изучение теоретической части дисциплины - подготовка к практическим занятиям		60 20
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (зачет)		не предусмотрен
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (экзамен)		29+9(экз)
<b>Практическая подготовка при реализации дисциплины (всего)</b>		0

### 5. Структура и содержание дисциплины

#### 5.1. Структура дисциплины

#### ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 2а. Модули дисциплины, трудоемкость в часах и виды учебной работы

№	Наименование модуля	Труд-ть часы	Лекции	Практич. занятия	Лаб. практикум	Сам. работа
1	Введение. Классификация биотехнологического оборудования	11	3	2	-	3+3(экз)
2	Методы исследования процессов и аппаратов в биотехнологическом производстве	22	4	2	10	3+3(экз)
3	Гидравлические процессы биотехнологических производств	13	4	3	-	3+3(экз)
4	Гидромеханические процессы биотехнологических производств	13	4	3	-	3+3(экз)
5	Тепловые процессы биотехнологических производств	23	4	3	10	3+3(экз)
6	Массообменные процессы биотехнологических производств	23	4	3	10	3+3(экз)

7	Оборудование складских и транспортных операций	13	4	3	-	3+3(экз)
8	Оборудование для подготовки питательных сред	13	4	3	-	3+3(экз)
9	Биореакторы	12	4	2	-	3+3(экз)
10	Оборудование для концентрирования, выделения и очистки целевых продуктов биосинтеза и придания им товарных форм	13	4	2	-	4+3(экз)
11	Обеспечение асептических условий производства	12	3	2	-	4+3(экз)
12	Обслуживание оборудования биотехнологических производств	12	3	2	-	4+3(экз)
<b>Всего на дисциплину</b>		<b>180</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>39+36(экз)</b>

### ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 2б. Модули дисциплины, трудоемкость в часах и виды учебной работы

№	Наименование модуля	Труд-ть часы	Лекции	Практич. занятия	Лаб. практикум	Сам. работа
1	Введение. Классификация биотехнологического оборудования	15	1	1	-	12+1(экз)
2	Методы исследования процессов и аппаратов в биотехнологическом производстве	16	1	1	-	13+1(экз)
3	Гидравлические процессы биотехнологических производств	17	1	2	-	13+1(экз)
4	Гидромеханические процессы биотехнологических производств	17	1	2	-	13+1(экз)
5	Тепловые процессы биотехнологических производств	16	1	1	-	13+1(экз)
6	Массообменные процессы биотехнологических производств	16	1	1	-	13+1(экз)
7	Оборудование складских и транспортных операций	14	-	1	-	12+1(экз)
8	Оборудование для подготовки питательных сред	15	1	1	-	12+1(экз)
9	Биореакторы	14	-	1	-	12+1(экз)
10	Оборудование для концентрирования, выделения и	14	1	1	-	12+0(экз)

	очистки целевых продуктов биосинтеза и придания им товарных форм					
11	Обеспечение асептических условий производства	13	-	1	-	12+0(экз)
12	Обслуживание оборудования биотехнологических производств	13	-	1	-	12+0(экз)
<b>Всего на дисциплину</b>		<b>180</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>149+9(экз)</b>

## 5.2. Содержание дисциплины

### **МОДУЛЬ 1 «ВВЕДЕНИЕ. КЛАССИФИКАЦИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ»**

Введение. Задачи курса и его содержание. Структура биотехнологических производств. Классификация биотехнологического оборудования.

### **МОДУЛЬ 2 «МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ В БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ»**

Методы исследования процессов и аппаратов в биотехнологическом производстве. Лабораторные исследования. Исследования на опытных установках. Масштабирование опытных работ. Пассивный и активный эксперименты. Методы экспериментального исследования биореакторов. Лабораторные биореакторы. Технологический регламент. Моделирование и масштабирование биотехнологических схем процессов.

### **МОДУЛЬ 3 «ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»**

Гидравлические процессы биотехнологических производств. Трубопроводы. Гидравлический расчет трубопроводов.

### **МОДУЛЬ 4 «ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»**

Гидромеханические процессы биотехнологических производств. Осаждение, фильтрование, разделение под действием центробежных сил инерции, псевдооживление, перемешивание.

### **МОДУЛЬ 5 «ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»**

Тепловые процессы биотехнологических производств. Теплопроводность, теплоотдача и теплопередача в биотехнологическом оборудовании. Тепловой расчет оборудования. Нестационарные процессы теплопередачи. Умеренное и глубокое охлаждение.

### **МОДУЛЬ 6 «МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»**

Массообменные процессы биотехнологических производств. Основной закон массопередачи. Адсорбция, термическая сушка, экстрагирование, перегонка и ректификация.

## **МОДУЛЬ 7 «ОБОРУДОВАНИЕ СКЛАДСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ»**

Оборудование складских и транспортных операций. Определение величин складских запасов. Оборудование для хранения сырья, полупродуктов и продуктов. Оборудование для транспортирования и дозировки сыпучих материалов и жидких сред. Выбор и определение производительности и затрат мощности.

## **МОДУЛЬ 8 «ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД»**

Оборудование для подготовки питательных сред: при поверхностном методе культивирования, при глубинном методе культивирования.

## **МОДУЛЬ 9 «БИОРЕАКТОРЫ»**

Биореакторы. Классификация. Аппараты для аэробного культивирования в жидких питательных средах: с подводом энергии к газовой фазе, с подводом энергии к жидкой фазе, с комбинированным подводом энергии. Аппараты для поверхностного культивирования на твердых питательных средах. Аппараты для анаэробного культивирования. Вспомогательные устройства биореакторов. Выбор типа биореактора. Тепло - и массообменные расчеты биореакторов. Схема оптимального расчета биореактора.

## **МОДУЛЬ 10 «ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ, ВЫДЕЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ БИОСИНТЕЗА И ПРИДАНИЯ ИМ ТОВАРНЫХ ФОРМ»**

Оборудование для концентрирования, выделения и очистки целевых продуктов биосинтеза и придания им товарных форм. Методы и оборудование для разделения жидкой и твердой фаз (флотация, отстаивание, фильтрация, центрифугирование, сепарация). Методы и оборудование для концентрирования, разделения и очистки растворов (выпаривание, мембранное разделение, высаливание, кристаллизация, растворение, адсорбция, ионный обмен, экстракция). Методы и оборудование для измельчения поверхностных культур и готовых продуктов биосинтеза, для дезинтеграции микробных клеток. Оборудование для сушки продуктов биосинтеза (конвективной, контактной, сублимационной). Придание товарных форм продукции биотехнологических производств, фасовка и упаковка ее. Выбор и расчет проектируемого оборудования.

## **МОДУЛЬ 11 «ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСЕПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА»**

Обеспечение асептических условий производства. Методы и оборудование стерилизации сыпучих и жидких сред, тонкой очистки и стерилизации воздуха. Стерилизация технологического оборудования и коммуникаций. Выбор и расчет оборудования стерилизации технологических потоков. Определение режимов стерилизации и уровня стерильности.

## МОДУЛЬ 12 «ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»

Графики и регламенты обслуживания биотехнологического оборудования, дефектация и основные методы восстановления узлов биотехнологического оборудования.

### 5.3. Лабораторные работы ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 3а. Лабораторные работы и их трудоемкость

Порядковый номер модуля. Цели лабораторных работ	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость в часах
<b>Модуль 2.</b> <b>Цель:</b> Практическое ознакомление с работой и устройством установки для изучения параметров гидродинамики процесса псевдооживления, давления фильтрования, определение производительности центрифуги.	Изучение гидродинамики на тарелках массообменных аппаратов	10
	Исследование гидродинамических режимов движения жидкости по прямым гладким трубам	
	Изучение гидродинамики псевдооживленного слоя	
	Определение констант фильтрования на барабанном вакуум-филт্রে	
	Исследование процесса разделения суспензий в центрифуге непрерывного действия	
	Исследование работы фильтрующей центрифуги периодического действия	
<b>Модуль 5.</b> <b>Цель:</b> Ознакомиться с практическим применением установки для теплообмена насыщенного водяного пара в качестве горячего теплоносителя (греющего) и воды в качестве холодного теплоносителя (нагреваемого), а также с процессом выпаривания и работой двухкорпусной выпарной установки непрерывного действия	Исследование процесса теплопередачи в кожухотрубчатом теплообменнике	10
	Исследование теплообмена в аппарате воздушного охлаждения	
	Испытание двухкорпусной выпарной установки с определением коэффициентов теплопередачи	
	Испытание ректификационной установки	
	Исследование процесса сушки зернистых материалов в псевдооживленном слое	
	Исследование процесса сушки зернистых материалов в псевдооживленном слое	
<b>Модуль 6.</b> <b>Цель:</b> Ознакомиться с процессами и устройствами, применяемыми на биотехнологических производствах	Изучение работы компрессионной фреоновой холодильной установки	10
	Измельчение твердых материалов	
	Исследование процесса дозирования сыпучих материалов в двухшнековых дозаторах	

	Исследование затрат мощности, потребляемой механическими мешалками	
	Исследование работы вибрационного грохота	
	Исследование процесса смешения сыпучих материалов в барабанном смесителе	

#### 5.4. Практические занятия ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 4а. Тематика, форма практических занятий (ПЗ) и их трудоемкость

Порядковый номер модуля. Цели практических занятий	Примерная тематика занятий и форма их проведения	Трудоемкость в часах
<b>Модуль 1.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с классификацией оборудования и структурой биотехнологических предприятий	Проведение презентаций: классификация биотехнологического оборудования и предприятий биотехнологической промышленности	2
<b>Модуль 2.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с методами исследования и разработки оборудования предприятий биотехнологических производств	Проведение презентаций: методы исследования процессов и аппаратов в биотехнологическом производстве.	2
<b>Модуль 3.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с гидравлическими процессами биотехнологических производств	Решение задач: гидравлические процессы биотехнологических производств.	3
<b>Модуль 4.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с гидромеханическими процессами биотехнологических производств	Решение задач: гидромеханические процессы биотехнологических производств.	3
<b>Модуль 5.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с тепловыми процессами биотехнологических производств	Решение задач: тепловые процессы биотехнологических производств	3
<b>Модуль 6.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с массообменными процессами биотехнологических производств	Решение задач: массообменные процессы биотехнологических производств.	3
<b>Модуль 7.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с оборудованием складских и транспортных операций	Проведение презентаций: оборудование складских и транспортных операций.	3
<b>Модуль 8.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с оборудованием для подготовки питательных сред	Проведение презентаций: оборудование для подготовки питательных сред	3
<b>Модуль 9.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с основным биореакторным оборудованием	Биореакторное оборудование	2
<b>Модуль 10.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с оборудованием для концентрирования, выделения и	Решение задач: оборудование для концентрирования, выделения и очистки целевых продуктов биосинтеза и	2

очистки целевых продуктов биосинтеза и придания им товарных форм	придания им товарных форм.	
<b>Модуль 11.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с оборудованием для обеспечения асептических условий производства	Проведение презентаций: обеспечение асептических условий производства.	2
<b>Модуль 12.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с методами обслуживания оборудования биотехнологических производств	Проведение презентаций: обслуживание оборудования биотехнологических производств	2

### ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 4б. Тематика, форма практических занятий (ПЗ) и их трудоемкость

Порядковый номер модуля. Цели практических занятий	Примерная тематика занятий и форма их проведения	Трудоемкость в часах
<b>Модуль 1.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с классификацией оборудования и структурой биотехнологических предприятий	Проведение презентаций: классификация биотехнологического оборудования и предприятий биотехнологической промышленности	1
<b>Модуль 2.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с методами исследования и разработки оборудования предприятий биотехнологических производств	Проведение презентаций: методы исследования процессов и аппаратов в биотехнологическом производстве.	1
<b>Модуль 3.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с гидравлическими процессами биотехнологических производств	Решение задач: гидравлические процессы биотехнологических производств.	2
<b>Модуль 4.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с гидромеханическими процессами биотехнологических производств	Решение задач: гидромеханические процессы биотехнологических производств.	2
<b>Модуль 5.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с тепловыми процессами биотехнологических производств	Решение задач: тепловые процессы биотехнологических производств	1
<b>Модуль 6.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с массообменными процессами биотехнологических производств	Решение задач: массообменные процессы биотехнологических производств.	1
<b>Модуль 7.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с оборудованием складских и транспортных операций	Проведение презентаций: оборудование складских и транспортных операций.	1
<b>Модуль 8.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с оборудованием для подготовки питательных сред	Проведение презентаций: оборудование для подготовки питательных сред	1
<b>Модуль 9.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с основным биореакторным оборудованием	Решение задач: биореакторное оборудование	1
<b>Модуль 10.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с оборудованием	Проведение презентаций: оборудование для концентрирования, выделения и	1

для концентрирования, выделения и очистки целевых продуктов биосинтеза и придания им товарных форм	очистки целевых продуктов биосинтеза и придания им товарных форм.	
<b>Модуль 11.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с оборудованием для обеспечения асептических условий производства	Проведение презентаций: обеспечение асептических условий производства.	1
<b>Модуль 12.</b> <b>Цель:</b> Ознакомление с методами обслуживания оборудования биотехнологических производств	Проведение презентаций: обслуживание оборудования биотехнологических производств	1

## **6. Самостоятельная работа обучающихся и текущий контроль успеваемости**

### **6.1. Цели самостоятельной работы**

Основными целями самостоятельной работы бакалавров является формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, поиску новых, рациональных и неординарных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умений подготовки выступлений и ведения дискуссий.

### **6.2. Организация и содержание самостоятельной работы**

Самостоятельная работа заключается в изучении отдельных тем курса по заданию преподавателя по рекомендуемой им учебной литературе, в подготовке к лабораторным и практическим занятиям; подготовке курсовой работы, доклада и презентации; к текущему контролю успеваемости; подготовке к экзамену.

После вводных лекций, в которых обозначается содержание дисциплины, ее проблематика и практическая значимость, студентам выдаются задания на лабораторные и практические занятия. В рамках дисциплины выполняются 19 лабораторных работ. Студенты выполняют задания в часы СРС в течение семестра в соответствии с освоением учебных разделов. Защита выполненных заданий производится поэтапно в часы лабораторных занятий. Оценивание осуществляется путем устного опроса проводится по содержанию и качеству выполненного задания.

После вводных лекций студентам выдаются темы курсовой работы, определяется порядок подготовки доклада и презентации для его защиты.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **7.1. Основная литература по дисциплине**

1. Комиссаров Ю.А. Процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие: в составе учебно-методического комплекса / Ю.А. Комиссаров, Л.С. Гордеев, Д.П. Вент; под ред. Ю.А. Комиссарова. - Москва: Химия, 2011. - 1229 с. - (Для высшей школы) (УМК-У). - Текст: непосредственный. - ISBN 978-5-98109-082-0: 1650 p. - (ID=92529-12)

2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов: в составе учебно-методического комплекса / А.Г.

Касаткин. - Москва: Альянс, 2006. - 750 с.: ил. - (УМК-У). - Библиогр.: с. 715 - 718. - Текст: непосредственный. - ISBN 5-903034-04-7: 819 р. 50 к. - (ID=60291-9)

3. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для студентов хим.-технол. спец. вузов: в 2 кн.: в 2 ч. Ч. 2: Массообменные процессы и аппараты / Ю.И. Дытнерский. - 2-е изд. - Москва: Химия, 1995. - 368 с.: ил. - (Для высшей школы). - ISBN 5-7245-1007-3: 9 р. 40 к. - (ID=6395-39)

4. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для студентов хим-технол. спец. вузов : в 2 ч. Ч. 1 : Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты / Ю.И. Дытнерский. - 2-е изд. - Москва : Химия, 1995. - 400 с. : ил. - ISBN 5-7245-1006-5 : 9 р. 40 к. - (ID=6378-35)

## 7.2. Дополнительная литература по дисциплине

1. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): учеб. пособие для вузов / П.Г. Романков [и др.]. - СПб.: Химия, 1993. - 496 с. - Текст: непосредственный. - ISBN 5-7245-0809-5: 2600 р. - (ID=104028-6)

2. Руководство к практическим занятиям в лаборатории процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие для вузов / А.А. Безденежных [и др.]. - 6-е изд.; перераб. и доп. - Ленинград: Химия, 1990. - 271 с. - Текст: непосредственный. - 90 к. - (ID=107645-42)

3. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии : учебник для вузов по спец. "Машины и аппараты хим. пр-в" / А.Н. Плановский, П.И. Николаев. - 3-е изд. ; доп. и испр. - Москва : Химия, 1987. - 496 с. : ил. - Библиогр. : с. 492 - 496. - Текст : непосредственный. - 1 р. 40 к. - (ID=57777-71)

5. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию: учеб. пособие для студентов хим.-технол. спец. вузов: в составе учебно-методического комплекса / Г.С. Борисов [и др.]; под ред. Ю.И. Дытнерского. - 2-е изд.; перераб. и доп. - М.: Химия, 1991. - 496 с.: ил. - (УМК-У). - Текст: непосредственный. - 5 р. 89 к. - (ID=85889-28)

6. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г.С. Борисов [и др.]; под ред. Ю.И. Дытнерского. - М. : Химия, 1983. - 272 с. : ил. - Текст : непосредственный. - 1 р. 50 к. - (ID=85981-6)

7. Романков П.Г. Гидромеханические процессы химической технологии : в составе учебно-методического комплекса / П.Г. Романков, М.И. Курочкина. - 3-е изд. ; доп. и перераб. - Л. : Химия, 1982. - 287 с. - (Процессы и аппараты хим. и нефтехим. технологии). - Текст : непосредственный. - 1 р. 30 к. - (ID=108890-10)

8. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для вузов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков; под ред. П.Г. Романкова. - 13-е изд. ; стер. - Москва : Альянс, 2006. - 575 с. : ил. - Библиогр. : с. 502 - 509. - Текст : непосредственный. - ISBN 5-98535-020-7 : 447 р. 50 к. - (ID=60290-20)

9. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. - 10-е изд. ; доп. и перераб. - Л. : Химия, Ленингр. отд-ние, 1987. - 576 с. : ил. - Текст : непосредственный. - 18 р. 53 к. - (ID=86163-58)

10. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков; под ред. П.Г. Романкова. - 9-е изд. ; доп. и перераб. - Ленинград : Химия, 1981. - 560 с. : ил. - Текст : непосредственный. - 1 р. 40 к. - (ID=8918-41)

11. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. пособие для хим.-технол. специальностей вузов . Кн. 1 / Н.И. Гельперин. - М. : Химия, 1981. - 384 с. - Текст : непосредственный. - 1 р. 10 к. - (ID=85680-65)

12. Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. пособие. Кн. 2 / Н.И. Гельперин. - М. : Химия, 1981. - 384 с. - Текст : непосредственный. - 1 р. 20 к. - (ID=85681-60)

13. Сажин, Б.С. Основы техники сушки / Б.С. Сажин. - Москва : Химия, 1984. - 319 с. - Текст : непосредственный. - 1 р. 40 к. - (ID=110329-19)

14. Технологии пищевых производств. Сушка сырья : учебное пособие для вузов / Г.И. Касьянов [и др.]. - 3-е изд. - Москва : Юрайт, 2023. - (Высшее образование). - Образовательная платформа Юрайт. - Текст : электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-534-08302-6. - URL: <https://urait.ru/bcode/514133> . - (ID=141424-0)

15. Гнездилова, А. И. Процессы и аппараты пищевых производств : учебник и практикум для вузов / А. И. Гнездилова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 270 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06237-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/513613> (дата обращения: 24.01.2023). - (ID=140909-0)

16. Процессы и аппараты пищевых производств и биотехнологии : учеб. пособие для вузов / Д.М. Бородулин [и др.]. - 2-е изд. ; испр. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. - 290 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Текст : непосредственный. - ISBN 978-5-8114-3436-7 : 799 р. 70 к. - (ID=134372-5)

17. Процессы и аппараты биотехнологии: ферментационные аппараты : учебное пособие для вузов / А.Ю. Винаров [и др.]; под редакцией В.А. Быкова. - 2-е изд. ; доп. и перераб. - Москва : Юрайт, 2022. - (Высшее образование). - Образовательная платформа Юрайт. - Текст : электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-534-10765-4. - URL: <https://urait.ru/book/processy-i-apparaty-biotehnologii-fermentacionnyye-apparaty-493206> . - (ID=131237-0)

### 7.3. Методические материалы

1. Процессы и аппараты химических производств : учебно-метод. пособие / сост.: И.В. Бобров, Т.С. Копылова, В.В. Лебедев, В.В. Шелгунов ; Тверской гос. техн. ун-т, Каф. МАХП ; под общ. ред. В.В. Бескоровайного. - Тверь :ТвГТУ, 2010. - Сервер. - CD. - Текст : электронный. - 0-00. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/81754> . - (ID=81754-2)

2. Долуда В.Ю. Процессы и аппараты биотехнологии : практикум для самостоятельной подготовки к практ. занятиям студентов по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология / В.Ю. Долуда, Э.М. Сульман; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь : ТвГТУ, 2016. - 23 с. : ил. - Текст : непосредственный. - 33 р. - (ID=113473-95)

3. Долуда, В.Ю. Процессы и аппараты биотехнологии : практикум для самостоятельной подготовки к практ. занятиям студентов по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология / В.Ю. Долуда, Э.М. Сульман; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь : ТвГТУ, 2016. - Сервер. - Текст : электронный. - 0-00. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/113206> . - (ID=113206-1)

4. Приложение к рабочей программе дисциплины вариативной части Блока 1 «Процессы и аппараты биотехнологии» направление подготовки бакалавров 19.03.01 Биотехнология. Профиль - Промышленная биотехнология. Заочная форма обучения. Семестр 7 : в составе учебно-методического комплекса / Тверской гос. техн. ун-т, Каф. БТиХ ; разработ. В.Ю. Долуда. - Тверь : ТвГТУ, 2017. - (УМК-ПП). - Сервер. - Текст : электронный. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/122357> . - (ID=122357-0)

5. Учебно-методический комплекс дисциплины вариативной части Блока 1 «Процессы и аппараты биотехнологии» направление подготовки бакалавров 19.03.01 Биотехнология. Направленность (профиль) - Промышленная биотехнология : ФГОС 3++ / Тверской гос. техн. ун-т, Каф. БТиХ ; сост. В.Ю. Долуда. - Тверь, 2022. - (УМК). - Текст : электронный. - 0-00. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/122354> . - (ID=122354-1)

#### **7.4. Программное обеспечение по дисциплине**

Операционная система Microsoft Windows: лицензии № ICM-176609 и № ICM-176613 (Azure Dev Tools for Teaching).

Microsoft Office 2007 Russian Academic: OPEN No Level: лицензия № 41902814.

#### **7.5. Специализированные базы данных, справочные системы, электронно-библиотечные системы, профессиональные порталы в Интернет**

ЭБС и лицензионные ресурсы ТвГТУ размещены:

1. Ресурсы: <https://lib.tstu.tver.ru/header/obr-res>
2. ЭК ТвГТУ: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/Web>
3. ЭБС "Лань": <https://e.lanbook.com/>
4. ЭБС "Университетская библиотека онлайн": <https://www.biblioclub.ru/>
5. ЭБС «IPRBooks»: <https://www.iprbookshop.ru/>
6. Электронная образовательная платформа "Юрайт" (ЭБС «Юрайт»): <https://urait.ru/>

7. Научная электронная библиотека eLIBRARY: <https://elibrary.ru/>
8. Информационная система "ТЕХНОРМАТИВ". Конфигурация "МАКСИМУМ": сетевая версия (годовое обновление): [нормативно-технические, нормативно-правовые и руководящие документы (ГОСТы, РД, СНИПы и др.). Диск 1, 2, 3, 4. - М.: Технорматив, 2014. - (Документация для профессионалов). - CD. - Текст: электронный. - 119600 p. - (105501-1)
9. База данных учебно-методических комплексов: <https://lib.tstu.tver.ru/header/umk.html>

УМК размещен: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/122354>

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

При изучении дисциплины «Процессы и аппараты биотехнологии» используются современные средства обучения, возможна демонстрация лекционного материала с помощью проектора. Аудитория для проведения лекционных занятий, проведения защит и презентаций курсовых работ оснащена современной компьютерной и офисной техникой, необходимым программным обеспечением, электронными учебными пособиями и законодательно-правовой поисковой системой, имеющий выход в глобальную сеть.

Для проведения лабораторного практикума используется специально оборудованная учебная лаборатория. В таблице 5 представлен рекомендуемый перечень материально-технического обеспечения лабораторного практикума по дисциплине.

Таблица 5. Рекомендуемое материально-техническое обеспечение дисциплины

№ пп	Рекомендуемое материально-техническое обеспечение дисциплины
<b>Лабораторные установки и стенды</b>	
1	Лаб. установка Барабанный вакуум-фильтр
2	Лаб. установка «Двухкорпусная выпарная установка»
3	Лаб. установка для изучения гидродинамики на тарелках массообменных аппаратов
4	Лаб. установка для исследования процесса разделения суспензий в центрифуге непрерывного действия
5	Лаб. установка Измельчение твердых материалов
6	Лаб. установка Изучение работы компрессионной фреоновой холодильной установки
7	Лаб. установка «Исследование процессов теплопередачи в кожухотрубчатом теплообменнике»
8	Лаб. установка «Исследование процесса дозирования сыпучих материалов в двухшнековых дозаторах»
9	Лаб. установка «Исследование затрат мощности, потребляемой механическими мешалками»
10	Лаб. установка «Исследование работы вибрационного грохота»
11	Лаб. установка «Исследование процесса смешения сыпучих материалов в барабанном смесителе»
12	Лаб. установка «Испытания ректификационной установки»
13	Лаб. установка «Исследование работы фильтрующей центрифуги периодического действия»

14	Лаб.установка «Изучение гидродинамики псевдооживленного слоя»
15	Лаб.установка «Исследование процесса сушки зернистых материалов в псевдооживленном слое»
16	Лаб.установка «Исследование работы электрического калорифера для нагрева воздуха»
17	Лаб.установка «Исследование гидродинамических режимов движения жидкости по прямым гладким трубам»
18	Лаб.установка «Исследование теплообмена в аппарате воздушного охлаждения»
19	Лаб.установка «Испытание адсорбционной установки для осушки воздуха»
<b>Лабораторное оборудование</b>	
1	Механические мешалки
2	Механические центрифуги
3	Барабанный смеситель
4	Электрический калорифер
5	Выпарная установка
6	Кожухотрубчатый теплообменник
7	Весы технические
8	Весы аналитические
9	Весы седиментационные
10	Шкаф суховоздушный
11	Муфельная печь
12	Рефрактометры
13	Стандартные наборы химических реактивов
14	Стандартные наборы химической стеклянной посуды
15	Стандартные наборы мерной стеклянной посуды
<b>Стандартные измерительные приборы</b>	
1	Стандартные измерительные приборы для измерения температуры

## **9. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

### **9.1. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена**

1. Экзаменационный билет соответствует форме, утвержденной Положением о рабочих программах дисциплин, соответствующих федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования с учетом профессиональных стандартов. Типовой образец экзаменационного билета приведен в Приложении. Обучающемуся даётся право выбора заданий из числа, содержащихся в билете, принимая во внимание оценку, на которую он претендует.

Число экзаменационных билетов – 20. Число вопросов (заданий) в экзаменационном билете – 3 (1 вопрос для категории «знать» и 2 вопроса для категории «уметь»).

Продолжительность экзамена – 60 минут.

2. Шкала оценивания промежуточной аттестации в форме экзамена – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

3. Критерии оценки за экзамен:

для категории «знать»:

выше базового – 2;

базовый – 1;

ниже базового – 0;

критерии оценки и ее значение для категории «уметь»:

отсутствие умения – 0 балл;

наличие умения – 2 балла.

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

4. Вид экзамена – письменный экзамен, включающий решение задач с использованием справочного материала и непрограммируемого калькулятора.

#### **5. База заданий, предъявляемая обучающимся на экзамен**

1. Вывести уравнение Бернулли для стационарного потока реальной жидкости.

2. Классификация процессов и аппаратов биотехнологических производств.

3. Произвести расчет материального баланса биореактора.

4. Методика инженерного расчета основного биотехнологического оборудования.

5. Основное уравнение гидростатики, его геометрическая и энергетическая интерпретация.

6. Уравнение Паскаля. Давление на дно и стенку сосуда.

7. Практические приложения основного уравнения гидростатики: принцип сообщающихся сосудов, пневматический измеритель уровня, работа гидравлического пресса.

8. Гидродинамика и предмет ее изучения. Внутренняя, внешняя и смешанная задачи гидродинамики. Понятие вязкости, мгновенной и средней скорости, расхода жидкости, единицы их измерения в системе СИ. Уравнения расхода.

9. Уравнение неразрывности (сплошности) потока.

10. Опыты Рейнольдса, режимы движения жидкостей и их характеристика, понятие эквивалентного диаметра и его расчет.

11. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости Л.Эйлера.

12. Уравнение Д.Бернулли для идеальной жидкости (вывод), геометрический и энергетический смысл членов этого уравнения.

13. Уравнение Д.Бернулли для реальной жидкости, его физическая и геометрическая интерпретации.

14. Использование уравнения Бернулли для расчета процесса истечения жидкости из отверстия при постоянном уровне заполнения.

15. Гидравлические сопротивления в трубопроводах. Понятие местного сопротивления, типы местных сопротивлений, расчет потерь напора и давления на местных сопротивлениях.

16. Режимы трения жидкостей и их характеристика. Понятие абсолютной и относительной шероховатости, гладкости трубопровода. Расчет потерь напора и давления на трение.

17. Основы теории подобия, ее преимущества. Физическое и математическое моделирование. Условия и теоремы подобия.

18. Геометрическое, физическое, временное подобие. Подобие начальных и граничных условий. Понятие коэффициента подобия, инвариантов, симплексов и критериев подобия.

19. Подобие гидродинамических процессов. Обработка уравнения Навье-Стокса методом анализа размерностей. Критерии гидродинамического подобия. Обобщенное критериальное уравнение.

20. Классификация насосов. Основные параметры насоса: подача, напор, потребляемая мощность, КПД.

21. Схема насосной установки и ее описание. Напор, создаваемый насосом для проектируемой и действующей установки. Расчет напора по показаниям манометра и вакуумметра.

22. Расчет предельно допустимой высоты всасывания насоса. Явление кавитации. Выбор насоса.

23. Последовательное и параллельное включение насосов. Способы регулирования подачи насосов.

24. Устройство и принцип действия центробежного насоса, характеристики насоса при постоянном числе оборотов. Определение рабочей точки при работе насоса на трубопровод. Формулы пропорциональности.

25. Осевые, вихревые и шестеренчатые насосы. Устройство и принцип действия. Преимущества и недостатки.

26. Поршневые насосы: классификация, устройство, принцип действия, область применения. График подачи.

27. Перемещение и сжатие газов. Классификация компрессорных машин.

28. Термодинамические основы работы компрессоров.

29. Индикаторная диаграмма поршневого компрессора.

30. Теоретическая удельная работа, затрачиваемая на сжатие газа в компрессорной машине. Подача и мощность поршневого компрессора. Объемный КПД поршневого компрессора. Число ступеней сжатия.

31. Гидромеханические процессы. Понятие неоднородной системы. Классификация неоднородных систем.

32. Цели процесса разделения неоднородных систем. Выбор методов разделения. Классификация методов разделения неоднородных систем.

33. Материальный баланс процесса разделения. Стесненное осаждение.

34. Физические основы разделения неоднородных систем под действием силы тяжести. Режимы осаждения и их характеристика.

35. Осаждение частиц под действием силы тяжести. Расчет скорости осаждения частиц в любом режиме, недостаток метода. Формула Стокса.

36. Метод Лященко. Диаграмма Лященко. Порядок расчета скорости осаждения по диаграмме Лященко.

37. Сущность процесса отстаивания. Схема процесса отстаивания на примере простого отстойника-сгустителя. Расчет отстойника-сгустителя.

38. Классификация отстойников. Устройство и принцип работы отстойников: с наклонными перегородками, с гребковой мешалкой.

39. Классификация отстойников. Устройство и принцип работы отстойника для разделения эмульсий.

40. Очистка газов. Устройство и принцип работы пылеосадительной камеры. Расчет пылеосадительной камеры.

41. Физическая сущность мокрой очистки газов. Способы осуществления контакта запыленного газа с жидкостью. Устройство и принцип работы скруббера Вентури.

42. Устройство и принцип работы полого и насадочного скрубберов. Расчет аппаратов мокрой очистки газов.

43. Физические основы фильтрования (понятия: фильтрата, осадка; типы фильтрующих перегородок и требования, предъявляемые к ним; типы образующихся осадков; виды фильтрования и их характеристика).

44. Принципиальная схема фильтрования. Классификация фильтров. Движущая сила фильтрования и способы ее создания.

45. Дифференциальное уравнение фильтрования. Физический смысл входящих в него величин.

46. Уравнение фильтрования при постоянной движущей силе процесса (вывод).

47. Уравнение фильтрования при постоянной скорости процесса (вывод). Уравнение фильтрования при постоянных перепаде давления и скорости процесса (вывод).

48. Экспериментальное определения констант сжимаемых осадков. Определение показателя сжимаемости.

49. Классификация конструкций фильтров. Устройство и принцип работы нутч – фильтра, характеристика стадий процесса.

50. Конструкции фильтров для очистки газовых систем. Устройство и принцип работы рукавного фильтра.

51. Расчет фильтров. Расчет периодически действующих фильтров. Устройство и принцип работы вертикального листового фильтра.

52. Расчет непрерывно действующих фильтров. Устройство и принцип работы барабанного вакуум-фильтра.

53. Физические основы электроочистки газов. Сущность метода электроосаждения. Формы электродов для создания неоднородного электрического поля.

54. Скорость электроосаждения. Расчет электрофильтра. Устройство и принцип работы трубчатого электрофильтра.

55. Принцип разделения неоднородных систем в электрофильтрах. Устройство и принцип работы пластинчатого электрофильтра.

56. Разделение неоднородных систем под действием центробежной силы. Скорость осаждения под действием центробежной силы.

57. Определение скорости центробежного осаждения при ламинарном режиме. Фактор разделения. Определение скорости центробежного осаждения по методу Лященко.

58. Конструкции простейшего и батарейного циклонов. Преимущества и недостатки циклонов. Расчет циклонов.

59. Центрифугирование. Классификация центрифуг. Фактор разделения. Принцип работы отстойных центрифуг. Приведите схему и опишите конструкцию подвесной отстойной центрифуги.

60. Центрифугирование. Принцип работы фильтрующих центрифуг. Приведите схему и опишите конструкцию фильтрующей центрифуги с пульсирующим поршнем.

61. Приведите схему и опишите конструкцию центрифуги со шнековым устройством для выгрузки осадка. Расчет центрифуг.

62. Применение процесса центрифугирования для разделения эмульсий. Приведите схему и опишите принцип работы тарельчатого сепаратора.

63. Перемешивание в жидких средах. Цели процесса перемешивания. Способы перемешивания. Интенсивность и эффективность процесса.

64. Механическое перемешивание. Классификация мешалок. Конструкции механических мешалок, их характеристика.

65. Пневматическое и циркуляционное перемешивание. Перемешивание в трубопроводах.

66. Определение мощности, затрачиваемой на перемешивание. Расчет рабочей мощности механической мешалки (с выводом). Расчет пусковой мощности мешалки. Расчет мощности двигателя.

67. Основное критериальное уравнение процесса перемешивания с модифицированными критериями подобия. Режимы перемешивания. Определение констант критериального уравнения.

68. Принцип псевдооживления. Достоинства и недостатки кипящего слоя. Области применения. Типы зернистых слоев.

69. Разновидности псевдооживленного слоя.

70. Основные характеристики псевдооживленного слоя.

71. Кривые псевдооживления. Расчет критических и оптимальной рабочей скоростей.

72. Основные конструкции аппаратов с псевдооживленным слоем. Расчет аппаратов с псевдооживленным слоем.

73. Три способа переноса теплоты. Физические основы теплопередачи, основные понятия и определения. Тепловые балансы.

74. Передача теплоты теплопроводностью. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его физический смысл, размерность.

75. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности, его физический смысл, размерность.

76. Уравнения теплопроводности плоской и цилиндрической стенок.

77. Уравнения теплопроводности плоской многослойной и цилиндрической многослойной стенок.

78. Тепловое излучение. Закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа. Определение количества теплоты при взаимном излучении двух твердых тел.

79. Конвективный теплообмен. Закон теплоотдачи Ньютона. Коэффициент теплоотдачи, его физический смысл, размерность. От каких факторов зависит коэффициент теплоотдачи.

80. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена.

81. Тепловое подобие. Основные критерии подобия и их физический смысл. Обобщенное критериальное уравнение.

82. Теплоотдача при конденсации паров и кипении жидкостей.

83. Теплопередача как сложный вид теплообмена. Уравнение теплопередачи. Коэффициент теплопередачи, его физический смысл, размерность и расчет.

84. Взаимные направления движения теплоносителей. Определение средней движущей силы процесса теплопередачи при различных взаимных направлениях теплоносителей.

85. Классификация теплообменных аппаратов. Кожухотрубчатые теплообменники. Разновидности конструкций, области применения.

86. Классификация теплообменных аппаратов. Спиральные, пластинчатые, оросительные теплообменники. Области применения.

87. Нагревающие агенты и способы нагревания.

88. Охлаждающие агенты, способы охлаждения и конденсации.

89. Физические основы выпаривания. Способы выпаривания.

90. Однокорпусное выпаривание. Тепловой и материальный балансы.

91. Температурные потери и полезная разность температур. Расчет температуры кипения раствора.

92. Физическая сущность многокорпусного выпаривания. Определение оптимального числа корпусов выпарной установки.

93. Материальный и тепловой балансы многокорпусных установок.

94. Классификация массообменных процессов. Основные понятия и определения. Способы выражения составов фаз.

95. Равновесие между фазами. Линия равновесия. Правило фаз. Закон Генри. Закон Рауля.

96. Материальный баланс массообменного аппарата (на примере противоточного абсорбера). Уравнение рабочей линии. Направление массопередачи и движущая сила массообменного процесса.

97. Молекулярная диффузия. Первый и второй законы Фика. Коэффициент молекулярной диффузии, его физический смысл и от каких факторов он зависит.

98. Массоотдача. Уравнение массоотдачи. Коэффициент массоотдачи.

99. Уравнение массопередачи. Коэффициент массопередачи. Понятие фазовых сопротивлений.

100. Уравнение массопередачи при переменной движущей силе процесса. Расчет среднего значения движущей силы процесса массопередачи. Число единиц переноса.

101. Подобие диффузионных процессов. Критерии диффузионного подобия. Обобщенное критериальное уравнение конвективного массообмена.

102. Абсорбция: физическая сущность и разновидности процесса. Закон равновесия при абсорбции. Тепловой эффект абсорбции. Материальный баланс противоточного абсорбера.

103. Уравнение рабочей линии противоточного абсорбера. Влияние удельного расхода абсорбента на габариты аппарата.

104. Классификация абсорбционных аппаратов. Конструкции поверхностных и насадочных абсорберов.

105. Классификация абсорбционных аппаратов. Конструкции насадочных и барботажных абсорберов. Типы тарелок.

106. Дистилляция и ректификация: назначение и физическая сущность процессов. Иллюстрация принципа осуществления этих процессов на диаграмме температура-состав.

107. Простая дистилляция. Варианты осуществления и области применения процесса. Схема установки. Материальный баланс процесса.

108. Физические основы непрерывной ректификации. Схема установки и ее принцип работы. Общий материальный баланс.

109. Схема ректификационной установки непрерывного действия и ее принцип работы. Материальный баланс верхней части колонны, уравнение линии рабочих концентраций для этой части.

110. Схема ректификационной установки непрерывного действия и ее принцип работы. Материальный баланс нижней части колонны, уравнение линии рабочих концентраций для этой части.

111. Изображение процесса непрерывной ректификации на У-Х диаграмме. Построение рабочих линий, определение теоретического и действительного числа тарелок.

112. Сушка. Физическая сущность процесса. Способы тепловой сушки. Формы связи влаги с материалом.

113. Основные параметры влажного воздуха. I-x диаграмма влажного воздуха.

114. I-x диаграмма влажного воздуха. Изображение теоретического процесса сушки на I-x диаграмме. Определение температуры мокрого термометра и точки росы.

115. Способы количественной оценки влагосодержания материала. Материальный баланс процесса сушки.

116. Тепловой баланс воздушной калориферной сушилки. Изображение действительного процесса сушки на I-x диаграмме. Определение расхода воздуха и теплоты на сушку.

117. Изображение вариантов сушильного процесса I-x диаграмме: сушка с промежуточным подогревом воздуха по зонам, сушка с частичной рециркуляцией отработанного воздуха. Определение расхода воздуха и теплоты.

118. Кинетические закономерности процесса сушки. Скорость сушки. Кривые сушки и скорости сушки, температурная кривая. Их анализ. Периоды процесса сушки.

119. Конструкции туннельной и барабанной сушилок.

120. Конструкции ленточной и вальцевой сушилок.

121. Конструкции сушилок кипящего слоя и распылительной.

122. Биореактора классификация, конструкция, типы.

Пользование различными техническими устройствами, кроме ЭВМ компьютерного класса и программным обеспечением, необходимым для решения поставленных задач, не допускается. При желании студента покинуть пределы аудитории во время экзамена экзаменационный билет после его возвращения заменяется.

Преподаватель имеет право после проверки письменных ответов на экзаменационные вопросы и решенных на компьютере задач задавать студенту в устной форме уточняющие вопросы в рамках содержания экзаменационного билета, выданного студенту.

Иные нормы, регламентирующие процедуру проведения экзамена, представлены в Положении о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

## **9.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме зачета**

Учебным планом зачет по дисциплине не предусмотрен.

## **9.3. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме курсового проекта или курсовой работы**

1. Шкала оценивания курсовой работы – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

2. Примерная тематика курсовой работы.

Темы курсовых работ основаны на выполнении основных расчетов реакционного оборудования. Варианты с исходными данными представлены в таблице 6. Основная схема реактора представлена на рисунке 1.

Цель: Научиться проводить расчеты емкостного оборудования для проведения химических процессов, обосновывать подбор их геометрических параметров и проводить их подбор на основе установленных стандартов.

**Задание 1.** Рассчитать основные конструктивные и энергетические показатели реактора общим объемом  $V\text{ м}^3$  (Рисунок 1). Реактор предназначен для проведения процесса этерификации олеиновой кислоты этиловым спиртом. Плотность среды  $\rho_{\text{ср}}$  кг/м<sup>3</sup>, динамическая вязкость среды  $\mu_{\text{ср}}$  (н с)/м<sup>2</sup>, теплоемкость среды  $c_{\text{ср}}$  Дж/(кг К), коэффициент теплопроводности  $\lambda_{\text{ср}}$  Вт/(м К), коэффициент заполнения аппарата  $K$ , рабочее избыточное давление  $P_{\text{пара}}$ , атм. Произвести расчет одноступенчатого редуктора привода мешалки. Предоставить чертежи 1 – реактор – общий вид (Чертеж в автокаде или компасе формат чертежа А1), редуктор сборочные чертеж (Чертеж от руки в формате А1).

Таблица 6. Исходные данные к индивидуальному заданию 1.1

№	$V$ , м <sup>3</sup>	$\rho_{\text{ср}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu_{\text{ср}}$ , (н с)/м <sup>2</sup>	$c_{\text{ср}}$ , Дж/(кг К)	$\lambda_{\text{ср}}$ , Вт/(м К)	$K$	$P_{\text{изб. пара}}$ , атм
1	0.1	1010	0.0011	4186	0.6	0.5	0.5
2	0.2	1020	0.0012	4196	0.65	0.525	1

3		0.3	1030	0.0013	4216	0.7	0.55	1.5
4		0.4	1040	0.0014	4226	0.75	0.575	2
5		0.5	1050	0.0015	4236	0.8	0.6	2.5
6		0.6	1060	0.0016	4246	0.85	0.625	3
7		0.7	1070	0.0017	4256	0.9	0.65	3.5
8		1	1010	0.0011	4186	0.6	0.5	4
9		2	1020	0.0012	4196	0.65	0.525	0.5
10		3	1030	0.0013	4216	0.7	0.55	1
11		4	1040	0.0014	4226	0.75	0.575	1.5
12		5	1050	0.0015	4236	0.8	0.6	2
13		6	1060	0.0016	4246	0.85	0.625	2.5
14		7	1070	0.0017	4256	0.9	0.65	3
15		20	1010	0.0011	4186	0.6	0.5	3.5
16		25	1020	0.0012	4196	0.65	0.525	4
17		30	1030	0.0013	4216	0.7	0.55	0.5
18		35	1040	0.0014	4226	0.75	0.575	1
19		40	1050	0.0015	4236	0.8	0.6	1.5
20		45	1060	0.0016	4246	0.85	0.625	2

Студент по согласованию с преподавателем может самостоятельно выбрать объект курсовой работы на базе организации или предприятия, на котором проводится практика или научно-исследовательская работа.

Курсовая работа может являться этапом подготовки к написанию ВКР.

### 3. Критерии итоговой оценки за курсовую работу.

Таблица 7. Оцениваемые показатели для проведения промежуточной аттестации в форме курсовой работы

№ раздела	Наименование раздела	Баллы по шкале уровня
	Термины и определения	Выше базового – 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0
	Введение	Выше базового – 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0
1	Общая часть (обзор литературы и нормативно-технических документов по теме курсовой работы)	Выше базового – 6 Базовый – 3 Ниже базового – 0
2	Специальная часть (расчет, проектирование и подготовка комплектов эскизной и рабочей конструкторской документации, включающей сборочный чертеж, чертеж аксонометрической проекции, спецификацию и чертежи общего вида всех нестандартных деталей)	Выше базового – 6 Базовый – 3 Ниже базового – 0
	Заключение	Выше базового – 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0

	Список использованных источников	Выше базового – 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0
	Приложения (при необходимости)	Выше базового – 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0

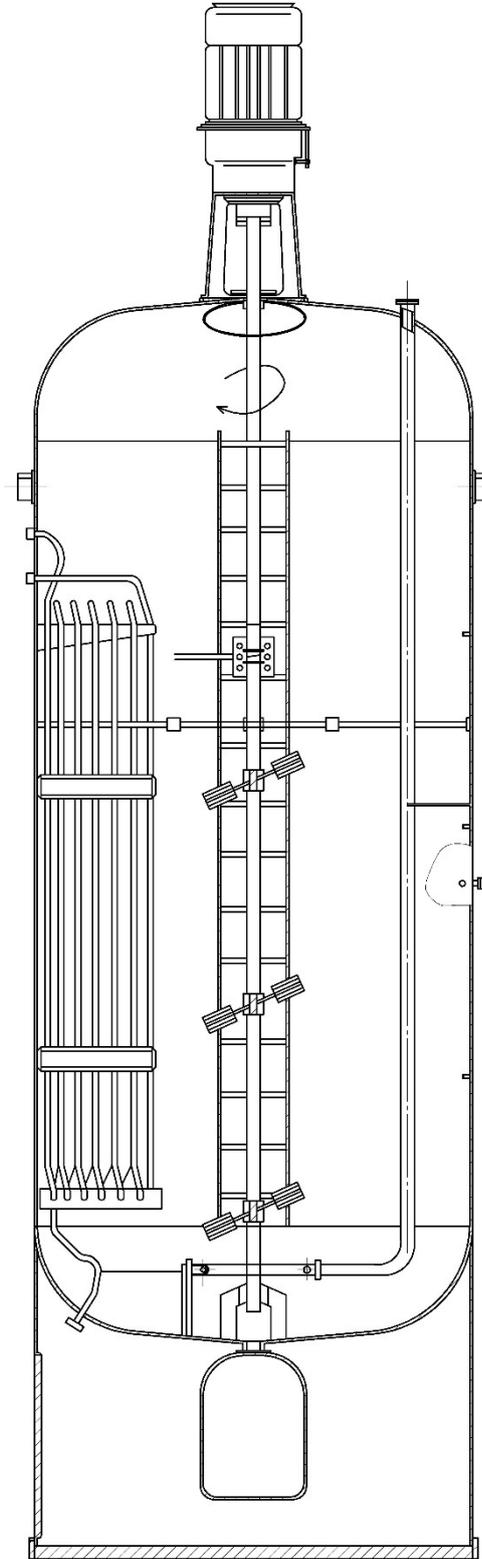


Рисунок 1. Схема реактора к заданию 1

Критерии итоговой оценки за курсовую работу:

«отлично» – при сумме баллов от 19 до 22;

«хорошо» – при сумме баллов от 15 до 18;

«удовлетворительно» – при сумме баллов от 11 до 15;

«неудовлетворительно» – при сумме баллов менее 11, а также при любой другой сумме, если по разделам «Общая часть» или «Специальная часть» работа имеет 0 баллов.

4. В процессе выполнения курсовой работы руководитель осуществляет систематическое консультирование.

5. Дополнительные процедурные сведения:

- студенты выбирают тему для курсовой работы самостоятельно из предложенного списка и согласовывают свой выбор с преподавателем в течение двух первых недель обучения;

- проверку и оценку работы осуществляет руководитель, который доводит до сведения обучающего достоинства и недостатки курсовой работы, и ее оценку. Оценка проставляется в зачетную книжку обучающегося и ведомость для курсовой работы. Если обучающийся не согласен с оценкой руководителя, проводится защита работы перед комиссией, которую назначает заведующий кафедрой;

- защита курсовой работы проводится в течение двух последних недель семестра и выполняется в форме устной защиты в виде доклада и презентации на 5-7 минут с последующим ответом на поставленные вопросы, в ходе которых выясняется глубина знаний студента и самостоятельность выполнения работы;

- работа не подлежит обязательному внешнему рецензированию;

- курсовые работы хранятся на кафедре в течение трех лет.

## **10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

Студенты перед началом изучения дисциплины ознакомлены с системами кредитных единиц и балльно-рейтинговой оценки.

Студенты, изучающие дисциплину, обеспечиваются электронными изданиями или доступом к ним, учебно-методическим комплексом по дисциплине, включая методические указания к выполнению практических работ, всех видов самостоятельной работы.

В учебный процесс рекомендуется внедрение субъект-субъектной педагогической технологии, при которой в расписании каждого преподавателя определяется время консультаций студентов по закрепленному за ним модулю дисциплины.

## **11. Внесение изменений и дополнений в рабочую программу дисциплины**

Содержание рабочих программ дисциплин ежегодно обновляется протоколами заседаний кафедры по утвержденной «Положением о структуре, содержании и оформлении рабочих программ дисциплин по образовательным программам, соответствующим ФГОС ВО с учетом профессиональных стандартов» форме.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки бакалавров 19.03.01 Биотехнология  
Профиль – Промышленная биотехнология  
Кафедра «Биотехнологии, химии и стандартизации»  
Дисциплина «Процессы и аппараты биотехнологии»  
Семестр 6

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

1. Задание для проверки уровня «знать» – или 0, или 1, или 2 балла:  
Классификация процессов и аппаратов биотехнологических производств.
2. Задание для проверки уровня «уметь» – или 0, или 2 балла:  
Произвести расчет материального баланса биореактора.
3. Задание для проверки уровня «уметь» – или 0, или 2 балла:  
Вывести уравнение Бернулли для стационарного потока реальной жидкости.

**Критерии итоговой оценки за экзамен:**

- «отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
- «хорошо» - при сумме баллов 4;
- «удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
- «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2 балла;

Составитель: проф. кафедры БХС

В.Ю. Долуда

Заведующий кафедрой БХС

М.Г. Сульман