

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Нижегородский государственный технический университет**  
**им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)**

Образовательно-научный институт  
физико-химических технологий и материаловедения (ИФХТиМ)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института:

\_\_\_\_\_/Ж.В. Мацулевич/  
подпись ФИО

“16” мая 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.Б.3 Массообменное оборудование биотехнологических производств**  
(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)  
для подготовки бакалавров/специалистов/магистров

Направление подготовки: 19.04.01 «Биотехнология»

\_\_\_\_\_  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Направленность: «Промышленная биотехнология и биоинженерия»

\_\_\_\_\_  
(наименование профиля, программы магистратуры, специализации)

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2023

Выпускающая кафедра: НиБ

Кафедра-разработчик НиБ

Объем дисциплины: 144/4

Промежуточная аттестация: экзамен

\_\_\_\_\_  
экзамен, зачет с оценкой, зачет

Разработчик(и): Плохов Сергей Владимирович, д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_  
(ФИО, ученая степень, ученое звание)

Нижний Новгород, 2023

Рабочая программа дисциплины: разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 19.04.01 «Биотехнология», утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 10 августа 2021 г. № 737 на основании учебного плана, принятого УМС НГТУ протокол от 18.05.2023 г. № 21.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры протокол от 11.05.2023 г. № 7.

Зав. кафедрой: к.х.н., доцент Калинина А.А.

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Программа рекомендована к утверждению ученым советом ИФХТиМ, протокол от 16.05.2023 № 9.

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ регистрационный №

Начальник МО

\_\_\_\_\_/Н.Р. Булгакова/  
(подпись)

Заведующая отделом комплектования НТБ

\_\_\_\_\_/Н.И. Кабанина/  
(подпись)

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1. Цель и задачи освоения дисциплины .....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	4
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины .....	5
4. Структура и содержание дисциплины.....	9
5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.....	14
6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....	17
7. Информационное обеспечение дисциплины .....	18
8. Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ.....	20
9. Материально-техническое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	20
10. Методические рекомендации обучающимся по освоению дисциплины.....	21
11.Оценочные средства для контроля освоения дисциплины.....	24

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**1.1. Целями освоения дисциплины** «Массообменное оборудование биотехнологических производств» является формирование у студентов углубленных знаний и навыков: подбора, технологических расчетов, принципов действия и эксплуатации перегонных аппаратов и ректификационных колонн для биотехнологических производств; в вопросах конструкции и эксплуатации различных типов установок для разделения жидких бинарных и многокомпонентных смесей.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины:**

- изучить основных способов перегонки жидкостей в биотехнологических производствах;
- дать представление о современном состоянии в области исследования характеристик двухфазных систем жидкость-пар, их роли в анализе и расчете процессов и аппаратов для разделения жидких смесей;
- рассмотрение конструкций аппаратов и схем установок для различных видов перегонки: фракционной, с дефлегматором, с водяным паром или инертным газом, равновесной;
- сформировать у студентов знания по конструкции колонн и схемам установок для ректификации: непрерывной и периодической, экстрактивной, азеотропной, молекулярной дистилляции, однократной и многократной, двух- и многокомпонентной;
- развить самостоятельность в приобретении знаний и опыта в выборе, расчете и проектировании аппаратов для перегонки и ректификационных колонн различных видов.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

**2.1. Учебная дисциплина «Массообменное оборудование биотехнологических производств»** включена в базовую часть образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 19.04.01 «Биотехнология» вне зависимости от направленности (профиля). Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП по данному направлению подготовки.

В ходе освоения данной дисциплины необходимы базовые знания, которые студенты получили в ходе обучения по программе бакалавриата по направлению подготовки 19.03.01 «Биотехнология», где освоены такие дисциплины как «Процессы и аппараты биотехнологии», «Процессы и аппараты биотехнологии II», «Основы массопередачи в биотехнологии», либо схожие по содержанию дисциплины.

Для успешного усвоения дисциплины студент должен владеть: законами физики, общей и физической химии; методами теории подобия; основами гидравлики, теплопередачи и массопередачи; навыками расчетов методами последовательных приближений и графического интегрирования.

Полученные в процессе изучения дисциплины «Массообменное оборудование биотехнологических производств» знания, умения и навыки будут востребованы при изучении таких дисциплин как «Основы промышленного строительства и проектирования систем вентиляции биотехнологических предприятий», «Ферментативное производство водорода» и др., при прохождении производственных практик, а также при подготовке, выполнении и защите курсовых и выпускной квалификационной работ, при решении научно-исследовательских задач в будущей профессиональной деятельности.

Связь данной дисциплины со специализацией обучающегося реализуется при формировании у студентов знаний и умений в сфере потенциала, методологии и компетенций в области проектирования и расчета параметров/характеристик оборудования для решения существующих и новых задач в профессиональной области.

Курс предполагает знакомство с существующими и разрабатываемыми промышленными конструкциями перегонных аппаратов и ректификационных колонн для биотехнологических производств, а также с включающими их схемами установок для разделения двух- и многокомпонентных жидких смесей, ориентированными на получение препаратов и продуктов высокой чистоты различного целевого назначения или на удаление из них вредных примесей.

Особенностью дисциплины является проведение практических занятий, что позволяет приобрести студентам умения проводить технические и технологические расчеты, а также первичный научный анализ результатов. В практические задания введены элементы, повышающие интерес студентов к ним и их познавательную активность. Для повышения познавательной активности студентов и приобретения ими первичных навыков научного анализа результатов, в эти классические практические задания введены элементы научного исследования, как-то: а) самостоятельно выбрать метод расчета (решения); б) объяснить другие возможные методы расчета (решения) и выбрать самый рациональный; в) предсказать практическое значение выполненного расчета, его области применения, провести анализ полученного результата и т.д.

К активным методам обучения относится дискуссия на практических занятиях. При проведении лекционных и практических занятий обеспечивается развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений, лидерских качеств (включая при необходимости проведение интерактивных лекций, групповых дискуссий, анализ ситуаций и имитационных моделей, составленных на основе результатов научных исследований, в том числе с учетом региональных особенностей профессиональной деятельности выпускников и потребностей работодателей).

Рабочая программа дисциплины «Массообменное оборудование биотехнологических производств» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Процесс изучения дисциплины (модуля) «Массообменное оборудование биотехнологических производств» направлен на:

- формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ОП ВО по направлению подготовки (специальности) 19.04.01 «Биотехнология»:

а) профессиональных (ПК): ПК – 2.

**Таблица 1 - Формирование компетенций дисциплинами**

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры, формирования компетенций дисциплинами			
	1	2	3	4
<b>ПК-2</b>				
Массообменное оборудование биотехнологических производств (Б1.Б.3)		✓		
Основы промышленного строительства и проектирования систем вентиляции биотехнологических предприятий (Б1.В.ОД.4)			✓	
Технологическая практика (Б2.П.3)				✓
Преддипломная практика (Б2.П.4)				✓
Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы (Б3.Д.1)				✓

**ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С  
ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОП**

*Таблица 2 - Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения*

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
					Текущего контроля	Промежуточной аттестации
ПК-2. Способен к разработке эффективного аппаратного оформления и проектирования оборудования перегонки и ректификации для биотехнологических производств на базе современных принципов биоинженерии	<i>ИПК-2.1. Осуществляет расчеты технологических параметров и оборудования для биотехнологических производств</i>	<b>ЗНАТЬ:</b> - механизмы массопереноса и основные уравнения массопроводности и массоотдачи;	<b>УМЕТЬ:</b> - составлять материальные балансы различных процессов массообмена;	<b>ВЛАДЕТЬ:</b> - методами расчета концентраций, расходов фаз и средней движущей силы массопередачи.	- Контрольные вопросы к практическим занятиям. - Задания к практическим занятиям.	Вопросы для письменного экзамена (25 вариантов тестов и задач). Вопросы для устного экзамена (14 билетов).

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
					Текущего контроля	Промежуточной аттестации
	<i>ИПК-2.2. Использует типовые методики и разрабатывает новые при инженерных расчетах технологических параметров на производствах</i>	<p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы моделирования массообменных процессов, основные критерии диффузионного подобия;</li> <li>- физический смысл числа единиц переноса и высоты единицы переноса, методы их определения;</li> <li>- общие принципы расчета размеров массообменных аппаратов;</li> </ul>	<p><b>УМЕТЬ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять методы моделирования и критерии диффузионного подобия для расчета процессов массообмена;</li> <li>- применять сведения о принципах расчета размеров массообменных аппаратов для определения диаметра и рабочей высоты (длины) аппаратов;</li> </ul>	<p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами расчета коэффициентов массоотдачи, массопередачи и других характеристик массообменных процессов;</li> <li>- навыками определения различными методами размеров массообменных аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактом фаз.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Контрольные вопросы к практическим занятиям.</li> <li>- Задания к практическим занятиям.</li> </ul>
	<i>ИПК-2.3. Умеет проводить расчеты параметров и режимов для усовершенствования технологических процессов на основе анализа отечественного и зарубежного опыта, осуществлять масштабирование процессов биотехнологического производства</i>	<p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современные представления о путях усовершенствования технологических процессов;</li> </ul>	<p><b>УМЕТЬ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить расчеты параметров и режимов усовершенствования технологических процессов на основе анализа отечественного и зарубежного опыта;</li> </ul>	<p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретическими представлениями об осуществлении масштабирования процессов биотехнологического производства.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Контрольные вопросы к практическим занятиям.</li> <li>- Задания к практическим занятиям.</li> </ul>

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа, распределение часов по видам работ семестрам представлено в таблице 3.

*Таблица 3 - Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам*

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час	
	Всего часов	в т.ч. по семестрам
		2 сем
<b>Формат изучения дисциплины</b>	с использованием элементов электронного обучения	
<b>Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>57</b>	<b>57</b>
<b>1.1. Аудиторная работа, в том числе:</b>	<b>51</b>	<b>51</b>
занятия лекционного типа (Л)	17	17
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практические занятия и др)	34	34
лабораторные работы (ЛР)		
<b>1.2. Внеаудиторная, в том числе</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)		
текущий контроль, консультации по дисциплине	4	4
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	2	2
<b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>51</b>	<b>51</b>
реферат/эссе (подготовка)		
расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)		
контрольная работа		
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)		
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	51	51
<b>Подготовка к экзамену (контроль)</b>	<b>36</b>	<b>36</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 - Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий <sup>12</sup>	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах) <sup>13</sup>	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах) <sup>14</sup>
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час				
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час					
<b>2 СЕМЕСТР</b>									
ПК-2; ИПК-2.1; ИПК-2.2; ИПК-2.3	<b>Раздел 1 Общие сведения об оборудовании и процессе перегонки</b>								
	<b>Тема 1.1</b> Характеристики двухфазных систем жидкость-пар	2			2	подготовка к лекции [1.1] (с. 198-203); [1.3] (с. 108-117); [2.2] (с. 78-82)	лекция-объяснение с частичным привлечением формы дискуссии, беседы		
	<b>Практическое занятие № 1.1</b> Сущность перегонки. Фазовые диаграммы бинарных жидких смесей с неограниченной растворимостью компонентов.			4	2	подготовка к занятию [1.2] (с. 496-500); [1.3] (с. 108-113); [3.1] (с. 3).	анализ контрольных вопросов в форме группового обсуждения и диалога		
	<b>Практическое занятие № 1.2</b> Фазовые диаграммы реальных бинарных жидких смесей с ограниченной растворимостью и полной нерастворимостью компонентов. Контрольные вопросы и решение задач. Домашняя контрольная работа.			6	4	подготовка к занятию [1.2] (с. 501-504); [1.3] (с. 9-13); [2.1] (с.325-327); [3.1] (с. 3).	анализ контрольных вопросов, задач и письменной контрольной работы в форме группового обсуждения и диалога		
	<b>Итого по разделу 1</b>	<b>2</b>		<b>10</b>	<b>8</b>				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий <sup>12</sup>	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах) <sup>13</sup>	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах) <sup>14</sup>
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час				
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час					
ПК-2: ИПК-2.1; ИПК-2.2; ИПК-2.3	<b>Раздел 2 Простая перегонка</b>								
	<b>Тема 2.1</b> Фракционная перегонка	2			4	подготовка к лекции [1.1] (с. 203-206); [1.2] (с. 504-506);	лекция-объяснение с частичным привлечением формы дискуссии, беседы		
	<b>Практическое занятие № 2.1</b> Принцип, схема, материальный баланс и расчет фракционной перегонки.			5	4	подготовка к занятию [1.3] (с. 117-119); [2.1] (с.329-331); [3.1] (с. 4).	анализ контрольных вопросов в форме группового обсуждения и диалога		
	<b>Тема 2.2</b> Особые виды простой перегонки	2			4	подготовка к лекции [1.2] (с. 506-508)	лекция-объяснение с частичным привлечением формы дискуссии, беседы		
	<b>Практическое занятие № 2.2</b> Перегонка с дефлегмацией, водяным паром и инертными газами, равновесная и молекулярная дистилляция (перегонка).			6	4	подготовка к занятию [1.3] (с. 120-123); [3.1] (с. 4).	анализ контрольных вопросов в форме группового обсуждения и диалога		
	<b>Итого по разделу 2</b>	<b>4</b>		<b>11</b>	<b>12</b>				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий <sup>12</sup>	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах) <sup>13</sup>	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах) <sup>14</sup>
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час				
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час					
<b>Раздел 3 Ректификация и оборудование для ее реализации в биотехнологических производствах</b>									
ПК-2: ИПК-2.1; ИПК-2.2; ИПК-2.3	<b>Тема 3.1</b> Виды ректификации	5			4	подготовка к лекции [1.1] (с. 207-208); [1.2] (с. 508-509); [1.3] (с. 123-125)	лекция-объяснение с частичным привлечением формы дискуссии, беседы		
	<b>Практическое занятие № 3.1</b> Теоретические основы, принципы, схемы установок и процессы непрерывной и периодической ректификации.			6	4	подготовка к занятию [1.2] (с. 509-512); [1.3] (с. 125-128); [3.1] (с. 4).	анализ контрольных вопросов в форме группового обсуждения и диалога		
	<b>Тема 3.2</b> Расчет ректификационных аппаратов непрерывного действия.	6			4	подготовка к лекции [1.1] (с. 208-219); [1.2] (с. 512-520)	лекция-объяснение с частичным привлечением формы дискуссии, беседы		
	<b>Практическое занятие № 3.2</b> Основные положения, схемы потоков, материальный и тепловой балансы, расчеты флегмового числа, высоты и диаметра колонн непрерывного действия. Контрольные вопросы и решение задач. Домашняя контрольная работа.			8	4	подготовка к занятию [1.3] (с. 128-138); [2.1] (с.319-325); [3.1] (с. 4-7).	анализ контрольных вопросов, задач и письменной контрольной работы в форме группового обсуждения и диалога		
	<b>Практическое занятие № 3.3</b> Периодическая и многокомпонентная ректификация			8	5	подготовка к занятию [1.2] (с. 520-537); [1.3] (с. 138-142); [2.2] (с. 92-114); [3.2] (с. 3-4).	анализ контрольных вопросов в форме группового обсуждения и диалога		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий <sup>12</sup>	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах) <sup>13</sup>	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах) <sup>14</sup>
		Контактная работа							
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час				
	<b>Практическое занятие № 3.4</b> Виды специальной перегонки			8	6	подготовка к занятию [1.2] (с. 537-546); [1.3] (с. 142-154); [3.2] (с. 4)	анализ контрольных вопросов в форме группового обсуждения и диалога		
	<b>Итого по разделу 3</b>	<b>11</b>		<b>30</b>	<b>27</b>				
	<b>ИТОГО по дисциплине</b>	<b>17</b>		<b>51</b>	<b>51</b>				

## **5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.**

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем, ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- дискуссия на практических занятиях;
- тестирование по темам лекционных занятий;
- решение практических задач;
- домашние контрольные работы.

### **5.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности**

Вопросы и задачи представлены в методических указаниях к практическим занятиям и по самостоятельной работе, приведенных в п. 6.3.

### **5.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания**

При промежуточном контроле (экзамен) успеваемость студентов оценивается по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

**Таблица 6 – Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания**

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
<p><b>ПК-2.</b> Способен к разработке эффективного аппаратного оформления и проектирования оборудования перегонки и ректификации для биотехнологических производств на базе современных принципов биоинженерии</p>	<p><i>ИПК-2.1. Осуществляет расчеты технологических параметров и оборудования для биотехнологических производств</i></p>	<p>Не способен объяснить физическую сущность различных видов перегонки, не владеет знаниями характеристик двухфазных систем жидкость-пар. Не способен объяснить основные принципы ректификации, организацию процесса непрерывной ректификации, основы способа периодической ректификации и ее режимы. Отсутствуют знания о работе аппаратов для ректификации многокомпонентных смесей. Не способен объяснить устройство и работу ректификационных аппаратов различных типов. Отсутствуют знания о специальных видах перегонки, условиях их проведения и параметрах.</p>	<p>Не уверенно усвоил характеристики двухфазных систем жидкость-пар. Отсутствуют знания видов простой перегонки и их закономерностей. Не уверенно усвоил основные принципы ректификации, организацию процесса непрерывной ректификации. С большим количеством ошибок воспроизводит знания об основах периодической ректификации и ректификации многокомпонентных смесей. Способен частично объяснить устройство и работу некоторых ректификационных аппаратов. Не уверенно усвоил знания о специальных видах перегонки, условиях их проведения и параметрах.</p>	<p>Знает основные характеристики двухфазных систем жидкость-пар. Способен объяснить физическую сущность некоторых видов простой перегонки. Уверенно объясняет основные принципы ректификации, организацию процесса непрерывной и периодической ректификации. Допускает отдельные ошибки в анализе работы аппаратов для ректификации многокомпонентных смесей. Уверенно объясняет устройство и работу основных типов ректификационных аппаратов. Допускает отдельные ошибки при анализе специальных видов перегонки, условий их проведения и параметров.</p>	<p>Уверенно знает все характеристики двухфазных систем жидкость-пар, их диаграммы. Отлично объясняет физическую сущность современных видов простой перегонки. Способен без ошибок объяснять основные принципы ректификации, организацию процесса непрерывной и периодической ректификации, работу аппаратов для ректификации многокомпонентных смесей. Отлично объясняет устройство и работу различных типов ректификационных аппаратов. Без ошибок проводит анализ специальных видов перегонки, условий их проведения и параметров</p>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-59% от тах рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 60-74% от тах рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от тах рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от тах рейтинговой оценки контроля
	<i>ИПК-2.2. Использует типовые методики и разрабатывает новые при инженерных расчетах технологических параметров на производствах</i>	Не способен усвоить схемы расчета технологических параметров процесса в ректификационных аппаратах. Отсутствуют знания конструкций различных типов насадок и тарелок.	Допускает много ошибок при воспроизведении схем расчета технологических параметров процесса в ректификационных аппаратах. Слабые знания конструкций различных типов насадок и тарелок.	Усвоил схемы расчета технологических параметров процесса в ректификационных аппаратах, допускает отдельные ошибки при их воспроизведении. Знает конструкции отдельных типов насадок и тарелок.	Уверенно усвоил схемы расчета технологических параметров процесса в ректификационных аппаратах, безошибочно их воспроизводит. Уверенно усвоил современные конструкции насадок и тарелок.
	<i>ИПК-2.3. Умеет проводить расчеты параметров и режимов для усовершенствования технологических процессов на основе анализа отечественного и зарубежного опыта, осуществлять масштабирование процессов биотехнологического производства</i>	Не знает современные направления усовершенствования технологических процессов, схемы расчета габаритных размеров ректификационных аппаратов и методы расчета аппаратов для ректификации многокомпонентных смесей.	Испытывает затруднения при анализе современных направлений усовершенствования технологических процессов, а также при воспроизведении схем расчета габаритных размеров ректификационных аппаратов и методов расчета аппаратов для ректификации многокомпонентных смесей.	Допускает незначительные ошибки при анализе современных направлений усовершенствования технологических процессов, а также при воспроизведении схем расчета габаритных размеров ректификационных аппаратов и методов расчета аппаратов для ректификации многокомпонентных смесей.	Уверенно знает современные направления усовершенствования технологических процессов, а также схемы расчета габаритных размеров ректификационных аппаратов и методы расчета аппаратов для ректификации многокомпонентных смесей, воспроизводит их без ошибок.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда

Библиотечный фонд имеет электронный доступ или укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину.

1.1. Бородулин, Д.М. Процессы и аппараты пищевых производств и биотехнологии: учебное пособие./ Д.М. Бородулин, М.Т. Шульбаева, Е.А. Сафонова, Е.А. Вагайцева – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2020. – 292 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература) — ISBN 978-5-8114-5136-4. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/132259> (дата обращения: 10.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

1.2. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии./ А.Г. Касаткин - 14-е изд. стер. - М.: Химия, М: Альянс, 2017 – 752 с.

1.3. Плохов, С.В. Массообмен в газожидкостных системах биотехнологических производств: Учеб. пособие / С.В. Плохов, И.Г. Трунова; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - Н. Новгород: [Изд-во НГТУ], 2024. - 156 с. : ил. - ISBN 978-5-502-01799-2

### 6.2. Справочно-библиографическая литература

2.1. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков - 13-е изд. стер. – Л.: Химия, М: Альянс, 2016 – 576 с.

2.2. Мочалов, Г.М. Базовые процессы химической технологии: Учебное пособие/ Г.М. Мочалов; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - Н. Новгород: [Б.и.], 2014. - 116 с.: ил. - ISBN 978-5-502-00577-7.

### 6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

В список «Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям» включаются методические указания и рекомендации по проведению лабораторных учебных занятий и самостоятельной работы по данной дисциплине:

#### **6.3.1 Методические указания, разработанные преподавателями:**

3.1. Плохов, С.В. Массообменное оборудование и проектирование биотехнологических производств. Методические указания к практическим занятиям. - Н. Новгород: НГТУ, 2024, 8 с. (электронный вариант).

3.2. Плохов, С.В. Массообменное оборудование и проектирование биотехнологических производств. Методические указания по организации и планированию самостоятельной работы. - Н. Новгород: НГТУ, 2024, 5 с. (электронный вариант).

3.3. Плохов С.В. Тестовые задания по процессам перегонки и ректификации. Учебно-метод. пособие к выполнению тестовых заданий по курсу «Массообменное оборудование и проектирование биотехнологических производств» для магистров по направлению 19.04.01 «Биотехнология» всех форм обучения/ С.В. Плохов, И.Г. Трунова. – Н. Новгород: НГТУ, 2024, 30 с.

### **6.3.2 Методические указания, разработанные НГТУ**

3.1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы. Приняты Учебно-методическим советом НГТУ им. Р.Е. Алексеева, протокол № 2 от 22 апреля 2013 г. Электронный адрес:

[http://www.nntu.ru/RUS/otd\\_sl/ymy/metod\\_dokym\\_obraz/met\\_rekom\\_aydit\\_rab.pdf?20](http://www.nntu.ru/RUS/otd_sl/ymy/metod_dokym_obraz/met_rekom_aydit_rab.pdf?20).

Дата обращения 23.09.2015.

3.2 Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы студентов по дисциплине. Приняты Учебно-методическим советом НГТУ им. Р.Е. Алексеева, протокол № 2 от 22 апреля 2013 г. Электронный адрес:[http://www.nntu.ru/RUS/otd\\_sl](http://www.nntu.ru/RUS/otd_sl)

[/ymy/metod\\_dokym\\_obraz/met\\_rekom\\_organiz\\_samost\\_rab.pdf?20](http://www.nntu.ru/RUS/otd_sl/ymy/metod_dokym_obraz/met_rekom_organiz_samost_rab.pdf?20).

3.3 Учебное пособие «Проведение занятий с применением интерактивных форм и методов обучения», Ермакова Т.И., Ивашкин Е.Г., 2013 г. Электронный адрес:[http://www.nntu.ru/RUS/otd\\_sl/ymy/metod\\_dokym\\_obraz/provedenie-zanyatij-s-primeneniem-interakt.pdf](http://www.nntu.ru/RUS/otd_sl/ymy/metod_dokym_obraz/provedenie-zanyatij-s-primeneniem-interakt.pdf).

## **7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

### **7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Перечень программных продуктов, используемых при проведении различных видов занятий по дисциплине (открытый доступ):

1. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: Справочная правовая система. - Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.
2. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
3. [Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса](http://elibrary.ru/defaultx.asp) [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://elib.tolgas.ru/> - Загл. с экрана.
4. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа:<http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
5. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл с экрана.
6. *Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа:*<http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
7. *Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам [Электронный ресурс]. - Режим доступа:* <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
8. *Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа:* <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

### **7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

**Таблица 7 - Перечень электронных библиотечных систем**

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	<a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
2	Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
3	Юрайт	<a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>

**Таблица 8 - Перечень программного обеспечения**

Программное обеспечение, используемое в университете на договорной основе	Программное обеспечение свободного распространения
Microsoft Windows XP, Prof, S/P3 (подписка DreamSpark Premium, договор №Tr113003 от 25.09.14)	Open Office 4.1.1 (лицензия Apache License 2.0)
Microsoft Windows 7 (подписка MSDN 4689, подписка DreamSparkPremium, договор № Tr113003 от 25.09.14)	Adobe Acrobat Reader (FreeWare)
Visual Studio 2008 (подписка DreamSpark Premium, договор №Tr113003 от 25.09.14)	
Microsoft Office Professional Plus 2007 (лицензия № 42470655)	
Microsoft Office (лицензия № 43178972)	
Windows XP лиц. № 65609340	
Office 2007 лиц. № 43178971	
Microsoft Windows XP Professional (лицензия № 43178980)	
MicrosoftOffice 2007 (лицензия № 44804588)	
1С предприятие 8.1 (лицензионное соглашение №800908353 с ЗАО «1С»)	
Adobe Design Premium CS 5.5.5 (лицензия № 65112135)	
Dr.Web (с/н GMN9-DSLH-G4U1-LW6H от 11.05.23)	
КонсультантПлюс (Договор № 28-13/16-313 от 27.12.16)	
Техэксперт (Договор №100/860 от 22.12.2016)	

В табл. 9 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

В данном разделе могут быть приведены ресурсы (ссылки на сайты), на которых можно найти полезную для курса информацию, в т.ч. статистические или справочные данные, учебные материалы, онлайн курсы и т.д.

**Таблица 9 - Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	База данных стандартов и регламентов РОССТАНДАРТ	<a href="https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts">https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts</a>
2	Электронная база избранных статей по философии	<a href="http://www.philosophy.ru/">http://www.philosophy.ru/</a>
3	Единый архив экономических и социологических данных	<a href="http://sophist.hse.ru/data_access.shtml">http://sophist.hse.ru/data_access.shtml</a>
4	Базы данных Национального совета по оценочной деятельности	<a href="http://www.ncva.ru">http://www.ncva.ru</a>
5	Справочная правовая система	доступ из локальной сети

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
	«КонсультантПлюс»	
6	Информационно-справочная система «Техксперт»	доступ из локальной сети

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В табл. 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

*Таблица 10 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ*

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Учебные аудитории для проведения занятий по дисциплине, оснащены оборудованием и техническими средствами обучения, состав которых определен в данном разделе.

*Таблица 11 - Оснащенность аудиторий и помещений для самостоятельной работы студентов по дисциплине*

№	Наименование аудиторий и помещений для учебной и самостоятельной работы	Оснащенность аудиторий помещений и помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающе-го документа
1	1221 Мультимедийная аудитория (для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных)	1. Доска меловая -1 шт. 2. Рабочее место студента на 50 чел.; 3. Рабочее место преподавателя – 1 шт.; 4. Переносное мультимедийное оборудование (мультимедийный)	1. Windows XP, Prof, S/P3 (подписка Dream Spark Premium, договор №Tr113003 от 25.09.14); 2. Dr.Web (с/н H365-W77K-B5HP-N346 от

№	Наименование аудиторий и помещений для учебной и самостоятельной работы	Оснащенность аудиторий помещений и помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающе-го документа
	консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации) (кафедра "Нанотехнологии и биотехнологии" г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24)	проектор, экран, ноутбук)	31.05.2023)
2	<b>1342</b> Мультимедийная аудитория (для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации) (кафедра "Нанотехнологии и биотехнологии" г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24)	1. Рабочее место преподавателя, 2. Рабочее место студента на 22 чел. 3. Переносное мультимедийное оборудование (мультимедийный проектор, экран)	1. Windows XP, Prof, S/P3 (подписка Dream Spark Premium, договор №Tr113003 от 25.09.14); 2. Dr.Web (с/н H365-W77K-B5HP-N346 от 31.05.2023)

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Обучение по дисциплине «Массообменное оборудование биотехнологических производств» осуществляется в следующих формах:

1. Аудиторные занятия (лекции, практические занятия).

2. Самостоятельная работа студента (подготовка к лекциям, практическим занятиям, доклады с презентациями, индивидуальная консультация с преподавателем).

Учебный материал структурирован и изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Каждому лабораторному занятию и самостоятельному изучению материала предшествует лекция по данной теме. Обучающиеся самостоятельно проводят предварительную подготовку к занятию, принимают активное и творческое участие в обсуждении теоретических вопросов, разборе проблемных ситуаций и поисков путей их решения.

Описание последовательности действий обучающегося:

При изучении курса следует внимательно слушать и конспектировать материал, излагаемый на аудиторных занятиях. Для его понимания и качественного усвоения рекомендуется следующая последовательность действий:

1. После окончания учебных занятий для закрепления материала просмотреть и обдумать текст лекции, прослушанной сегодня, разобрать рассмотренные примеры (10- 15 минут).

2. При подготовке к лекции следующего дня повторить текст предыдущей лекции, подумать о том, какая может быть следующая тема (10-15 минут).

3. В течение недели выбрать время для работы с литературой в электронной библиотечной системе (по 1 часу).

4. При подготовке к лабораторному занятию повторить основные понятия по теме, изучить примеры. Решая конкретную ситуацию, – предварительно понять, какой

теоретический материал нужно использовать. Наметить план решения, попробовать на его основе решить 1-2 задачи.

По итогам текущей успеваемости студенту может быть выставлена оценка по промежуточной аттестации в соответствии за набранными за семестр баллами. Студенты, выполнившие все обязательные виды запланированных учебных занятий к прохождению промежуточной аттестации (экзамен).

**Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

**Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

**Результат обучения считается несформированным**, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

## **10.2. Методические указания для занятий лекционного типа**

Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить, как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и

расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план; - уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций; -

связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;

- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;

- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;

- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;

- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и неизвестное, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;

- записывать надо сжато;

- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием курсовой работы, участием в лабораторных работах, подготовкой и сдачей зачета/экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

### **10.3. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях.**

Практические занятия позволяют студентам приобрести умения проводить технические и технологические расчеты, а также первичный научный анализ результатов. В практические занятия введены элементы, повышающие интерес студентов к ним и их познавательную активность. Для повышения познавательной активности студентов и приобретения ими первичных навыков научного исследования, в эти классические практические занятия введены элементы научного исследования, как-то:

а) самостоятельно выбрать метод расчета (решения);

б) объяснить другие возможные методы расчета (решения) и выбрать самый рациональный;

в) предсказать практическое значение выполненного расчета, его области применения, провести анализ полученного результата и т.д.

К активным методам обучения относится сдача письменной самостоятельной работы с последующим ее анализом в форме обсуждения, поскольку такая работа предполагает выполнение творческих заданий (задач). Учащийся вступает в диалог с преподавателем в ходе обсуждения результатов и их интерпретации.

Подготовку к каждому практическому занятию студент должен начать с изучения или повторения теоретического материала по теме, ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы.

Выполнение каждого задания практических занятий и обсуждение каждого контрольного вопроса студент сопровождает кратким конспектом, в котором приводятся решения задач и основные теоретические положения, обсуждаемые на занятиях.

При оценивании практических занятий учитывается следующее:

- рациональность выбора метода расчета;
- качество выполнения решения;
- способность обосновать другие возможные методы расчета (решения);
- качество устных ответов на контрольные вопросы занятия;
- активность при обсуждении решений (расчетов) и контрольных вопросов.

#### **10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

Темы, предназначенные для самостоятельного изучения, и контрольные вопросы к ним представлены в методических указаниях подраздела 6.3.1

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях библиотеки вуза. В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

### **11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе текущего контроля успеваемости**

*Примеры типовых заданий:*

**11.1.1. Типовые вопросы для группового/индивидуального обсуждения на практических занятиях**

#### **ЗАНЯТИЯ 22-26 (Тема 3.4)**

##### **Виды специальной перегонки**

#### **ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ГРУППОВОГО ОБСУЖДЕНИЯ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ:**

1. Характеристика специальных видов перегонки.
2. Схема экстрактивной ректификации и диаграммы у-х.
3. Принцип и схема азеотропной ректификации.
4. Молекулярная дистилляция и коэффициент разделения. Молекулярная теоретическая тарелка.
5. Виды низкотемпературной ректификации и их схемы.
6. Принцип расчета насадочных и тарельчатых колонн для непрерывной ректификации бинарных смесей.

7. Расчет периодической ректификации бинарных смесей.
8. Расчет ректификации бинарных смесей при помощи энтальпийных диаграмм.

### 11.1.2. Типовые вопросы для группового/индивидуального обсуждения на лекциях

#### ЛЕКЦИЯ 2 (Тема 2.1)

#### Фракционная перегонка

#### ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ГРУППОВОГО ОБСУЖДЕНИЯ НА ЛЕКЦИЯХ:

1. Виды простой перегонки.
2. Принцип фракционной простой перегонки.
3. Схема фракционной перегонки.
4. Материальный баланс фракционной перегонки.
5. Средний состав дистиллята фракционной перегонки.

### 11.1.3. Типовые задания для решения на практических занятиях

#### Занятие № 5 (Тема 1.1)

#### Решение задач на характеристики двухфазных систем жидкость-пар

Решение задач на характеристики двухфазных систем жидкость-пар (по выбору преподавателя из учебного пособия [2.1] или из методических указаний к практическим занятиям [3.1]).

#### ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ:

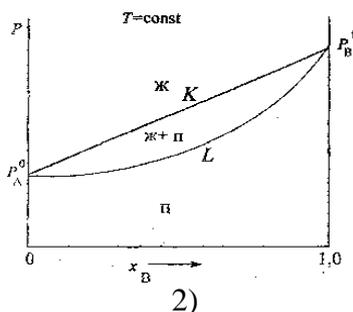
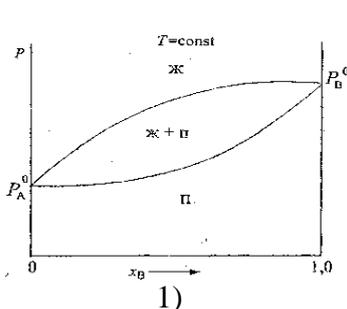
1. Вычислить состав равновесной паровой фазы при  $50^{\circ}\text{C}$  для жидкости, состоящей из смеси гексана и воды, предполагая их полную взаимную нерастворимость.
2. Определить температуру кипения при атмосферном давлении жидкой смеси толуол-вода, учитывая их полную взаимную нерастворимость.
3. С помощью диаграммы  $t-x$  определить состав равновесного пара и температуру кипения для жидкости, содержащей 55% (мол.) бензола и 45% (мол.) толуола.

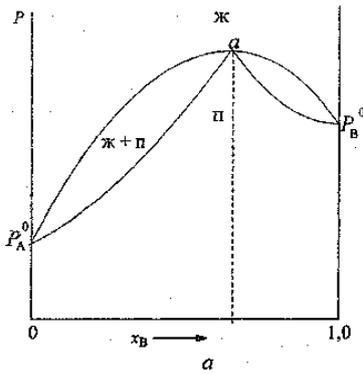
### 11.1.4. Типовые тестовые задания

#### 1. Что такое флегма?

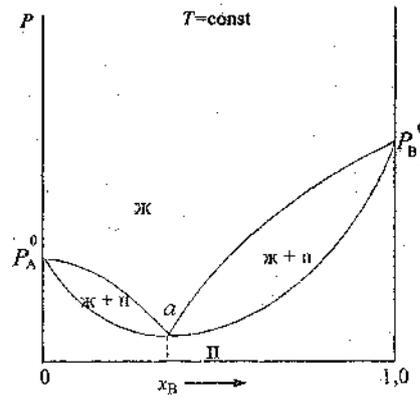
- 1) конечный продукт, удаляемый из колонны;
- 2) частично, возвращенный дистиллят;
- 3) боковой погон;
- 4) поток жидкости, удаляемый из нижней части колонны

#### 2. На каком рисунке изображена фазовая диаграмма бинарной системы жидкость – пар с неограниченной растворимостью компонентов и незначительным отклонением от закона Рауля?



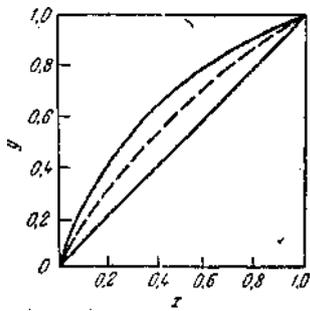


3)

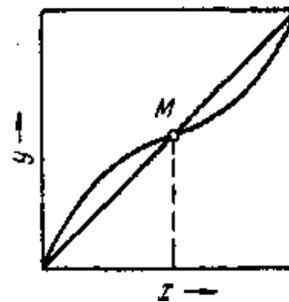


4)

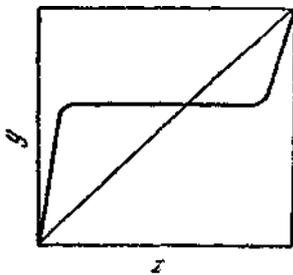
3. На каком рисунке изображена фазовая диаграмма бинарной системы жидкость – пар с практически нерастворимыми друг в друге компонентами?



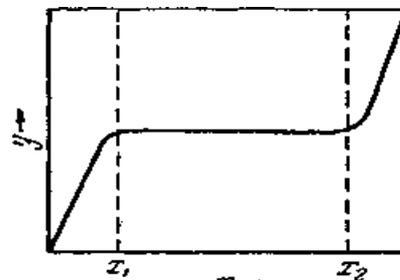
1)



2)

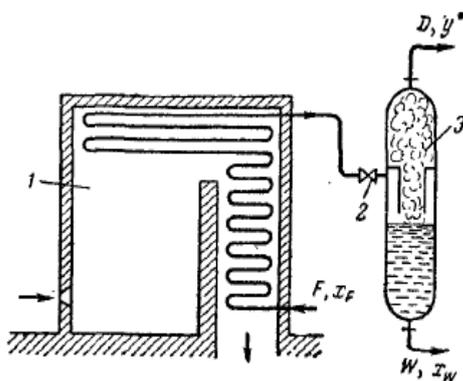


3)

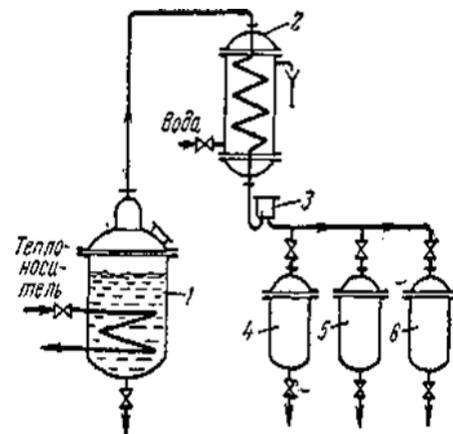


4)

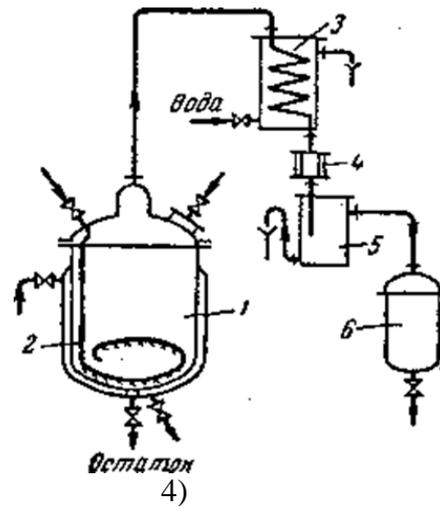
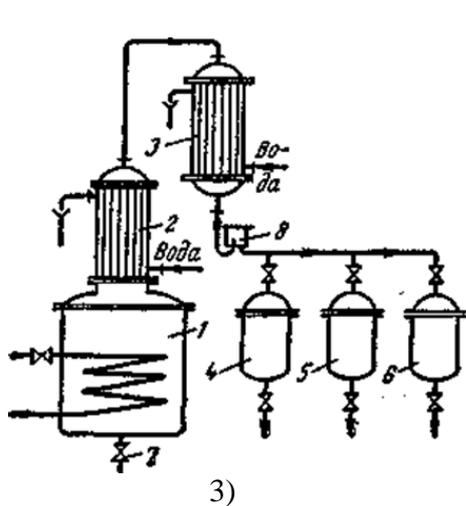
4. На каком рисунке изображена схема фракционной перегонки?



1)



2)



5. Чем является пространство между питающей тарелкой и самой нижней тарелкой в ректификационной колонне непрерывного действия?

- 1) укрепляющей частью колонны;
- 2) пространством для вывода ВК в качестве продукта;
- 3) исчерпывающей частью колонны;
- 4) пространством для ввода исходной смеси.

6. Какое уравнение отражает в интегральной форме материальный баланс простой перегонки по НК?

- 1)  $Lx = (L - dL)(x - dx) + dLy^*$ ;
- 2)  $\int_W^F \frac{dL}{L} = \int_{x_W}^{x_F} \frac{dx}{y^* - x}$ ;
- 3)  $\ln \frac{F}{W} = \int_{x_W}^{x_F} \frac{dx}{y^* - x}$ ;
- 4)  $Fx_F = Wx_W + (F - W)(x_p)_{ср}$ .

7. Какой вид имеет уравнение рабочей линии ректификационной колонны непрерывного действия?

- 1)  $y = \frac{L}{G}x + \left(y_n - \frac{L}{G}x_n\right)$ ;
- 2) нет уравнения;
- 3)  $y = \frac{R+f}{R+1}x + \frac{1-f}{R+1}x_w$ ;
- 4)  $y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_p}{R+1}$ .

8. Сколько ректификационных колонн требуется для разделения жидкой смеси, состоящей из  $n$  компонентов?

- 1)  $n$ ;
- 2)  $n-1$ ;
- 3)  $n-2$ ;
- 4)  $n+1$ .

9. Что характерно для процесса периодической ректификации с постоянным составом дистиллята ( $x_p = const$ )?

- 1) увеличение НК в дистилляте и уменьшение количества дистиллята;
- 2) увеличение НК в дистилляте и увеличение количества дистиллята;
- 3) увеличение возвращаемой флегмы и увеличение флегмового числа;
- 4) снижение НК в кипящей жидкости и дистилляте, фракционный сбор дистиллята.

### Задача №1

Определить число тарелок и высоту ректификационной колонны непрерывного действия для разделения под атмосферным давлением смеси метиловый спирт-вода. Массовая доля НК (% масс.) в исходной смеси  $x_F=26\%$ , в дистилляте  $x_d=70\%$ , в кубовом остатке  $x_w=1\%$ . КПД тарелок принять равным  $\eta=0,5$ , коэффициент избытка флегмы  $\beta=1,2$ . Расстояние между тарелками  $h=0,23\text{м}$ . Колонна обогревается глухим паром.

### Задача №2

Определить число тарелок и высоту ректификационной колонны непрерывного действия для разделения под атмосферным давлением смеси этиловый спирт-вода. Массовая доля НК (% масс.) в исходной смеси  $x_F=18\%$ , в дистилляте  $x_d=70\%$ , в кубовом остатке  $x_w=1,5\%$ . КПД тарелок принять равным  $\eta=0,75$ , коэффициент избытка флегмы  $\varphi=1,39$ . Расстояние между тарелками  $h=0,35$ . Колонна обогревается глухим паром.

**Примечание:** построение кривой равновесия в координатах  $y-x$  и графическое определение числа тарелок в колонне выполнить на миллиметровой бумаге.

### 11.1.5. Типовые задания для контрольной работы

#### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

#### Тема «Расчет ректификационных аппаратов непрерывного действия»

1. Определить число тарелок и высоту ректификационной колонны непрерывного действия для разделения под атмосферным давлением смеси метиловый спирт-вода. Массовая доля НК в исходной смеси  $x_F$ , в дистилляте  $x_D$ , в кубовом остатке  $x_w$ . КПД тарелок принять равным  $\eta$ , коэффициент избытка флегмы  $\beta$ . Расстояние между тарелками  $h$ . Колонна обогревается глухим паром. Начертить схему ректификационной установки непрерывного действия, описать принцип работы и сущность процесса, происходящего на каждой тарелке ректификационной колонны.

Значения  $\beta$  и  $\eta$  принять по предпоследней цифре шифра из табл. 3.2.

Таблица 3.2

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\beta$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,4	1,5	1,6
$\eta \cdot 10^2$	50	55	60	65	70	75	50	55	60	75

Значения остальных величин принять по последней цифре шифра из таблицы 3.3.

Таблица 3.3

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_F, \%$	26	27	28	29	20	21	22	23	24	25
$x_D, \%$	70	73	75	80	60	63	65	68	70	74
$x_w, \%$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$h \cdot 10^4, \text{м}$	23	25	28	27	30	31	34	25	27	30

**Примечание.** Построение кривой равновесия в координатах  $y-x$  и графическое определение числа тарелок в колонне выполнить на миллиметровой бумаге.

2. Определить число тарелок и высоту ректификационной колонны непрерывного действия для разделения под атмосферным давлением смеси этиловый

спирт-вода. Массовая доля НК в исходной смеси  $x_F$ , в дистилляте  $x_D$ , в кубовом остатке  $x_W$ . КПД тарелок принять равным  $\eta$ , коэффициент избытка флегмы  $\phi$ . Расстояние между тарелками  $h$ . Колонна обогревается глухим паром.

Значения  $\phi$ ,  $h$  и  $\eta$  принять по предпоследней цифре шифра из табл. 3.4.

Таблица 3.4

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\phi \cdot 10^2$	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
$\eta \cdot 10^2$	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
$h \cdot 10^3$ , м	230	250	270	280	300	310	320	330	340	350

Значения остальных величин принять по последней цифре шифра из таблицы 3.5.

Таблица 3.5

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_F$ , %	27	30	35	18	25	19	28	16	19	24
$x_D$ , %	62	65	70	75	70	68	66	62	68	70
$x_W$ , %	1,0	1,5	1,0	1,5	1,8	1,5	1,0	2,0	25	1,0

Примечание. Построение кривой равновесия в координатах  $y$ - $x$  и графическое определение числа тарелок в колонне выполнить на миллиметровой бумаге.

3. В ректификационной установке непрерывного действия проводят разделение  $G_F$  смеси  $N$ . Массовая доля НК в исходной смеси  $x_F$ , в дистилляте  $x_D$ , в кубовом остатке  $x_W$ . Исходная смесь поступает на ректификацию при температуре кипения. Рабочее флегмовое число  $R$ . Пары, поступающие в дефлегматор, полностью конденсируются, а конденсат выходит при температуре насыщения. Куб колонны обогревается сухим насыщенным паром давлением  $P_{гр}$ . Потеря теплоты в окружающую среду  $x$  от теплоты в кубе испарителя. Определить количество дистиллята и кубового остатка, рассчитать количество греющего пара, подаваемого в куб испарителя.

Значения величин принять по предпоследней цифре шифра из таблицы 3.6.

Таблица 3.6

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$G_F$ , кг/с	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$x_F$ , %	35	34	33	32	32	26	23	25	36	28
$x_D$ , %	99	98	97	96	95	70	68	90	90	86
$x_W$ , %	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,7	2,0	1,8	1,6
$R$	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	0,23	0,26	0,52	0,54	0,56
$P_{гр}$ , МПа	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,20	0,25	0,18	0,24	0,26
$x$ , %	3,0	3,5	4,0	4,2	4,5	2,8	4,1	2,9	3,1	3,6
$N$	сероуглерод-четырёххлористый углерод					метанол-вода		этанол-вода		

## 11.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе промежуточной аттестации по дисциплине

Экзамен проводится в устной или письменной форме по всему материалу изучаемого курса «Массообменное оборудование биотехнологических производств».

Экзаменационный билет содержит 2 вопроса из разных разделов дисциплины.

## **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ**

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 1**

1. Сущность и виды перегонки.
2. Уравнения рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей части ректификационной колонны.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 2**

1. Характеристики двухфазных систем жидкость-пар. Правило фаз Гиббса, закон Рауля, фазовые диаграммы равновесия смесей неограниченно растворимых жидкостей.
2. Построение рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей части ректификационной колонны.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 3**

1. Отклонения от закона Рауля. Фазовые диаграммы с азеотропными точками, смесей взаимно нерастворимых и ограниченно растворимых жидкостей.
2. Выбор действительного флегмового числа.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 4**

1. Виды простой перегонки.
2. Связь флегмового числа с рабочей высотой колонны.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 5**

1. Материальный баланс и средний состав дистиллята фракционной перегонки.
2. Тепловой баланс ректификационной колонны непрерывного действия.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 6**

1. Фракционная перегонка с дефлегмацией.
2. Периодическая ректификация бинарных смесей.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 7**

1. Перегонка с водяным паром.
2. Ректификация многокомпонентных смесей.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 8**

1. Перегонка с инертными газами.

2. Устройство ректификационных аппаратов.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9**

1. Равновесная перегонка.
2. Виды специальной перегонки. Экстрактивная ректификация.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10**

1. Молекулярная перегонка.
2. Азеотропная ректификация.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11**

1. Принцип ректификации.
2. Молекулярная дистилляция.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12**

1. Схема непрерывной ректификации.
2. Низкотемпературная одинарная ректификация.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13**

1. Схема периодической ректификации.
2. Двойная ректификация.

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14**

1. Материальный баланс непрерывной ректификации.
2. Принцип расчета ректификационных аппаратов.

### **Перечень вопросов и заданий для подготовки к экзамену (ПК-2: ИПК-2.1; ПК-2.2; ИПК-2.3):**

1. Сущность и виды перегонки.
2. Характеристики двухфазных систем жидкость-пар. Правило фаз Гиббса, закон Рауля, фазовые диаграммы равновесия смесей неограниченно растворимых жидкостей.
3. Отклонения от закона Рауля. Фазовые диаграммы с азеотропными точками, смесей взаимно нерастворимых и ограниченно растворимых жидкостей.
4. Виды простой перегонки. Фракционная простая перегонка.
5. Материальный баланс и средний состав дистиллята фракционной перегонки.
6. Фракционная перегонка с дефлегмацией.
7. Перегонка с водяным паром.
8. Перегонка с инертными газами.

9. Равновесная перегонка.
10. Молекулярная перегонка.
11. Принцип ректификации.
12. Схема непрерывной ректификации.
13. Схема периодической ректификации.
14. Материальный баланс непрерывной ректификации.
15. Уравнения рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей части ректификационной колонны.
16. Построение рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей части ректификационной колонны.
17. Выбор действительного флегмового числа.
18. Связь флегмового числа с рабочей высотой колонны.
19. Тепловой баланс ректификационной колонны непрерывного действия.
20. Периодическая ректификация бинарных смесей.
21. Ректификация многокомпонентных смесей.
22. Устройство ректификационных аппаратов.
23. Виды специальной перегонки. Экстрактивная ректификация.
24. Азеотропная ректификация.
25. Молекулярная дистилляция.
26. Низкотемпературная одинарная ректификация.
27. Двойная ректификация.
28. Принцип расчета ректификационных аппаратов.