

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
( ФГАОУ ВО «МГТУ»)

Кафедра технологического и  
холодильного оборудования

**Методические указания  
к самостоятельной работе бакалавров**

**По дисциплине:** Б1.Б.25 Процессы и аппараты пищевых производств  
код и наименование дисциплины

**Направление подготовки/специальность** 15.03.02 Технологические машины и  
оборудование  
код направления/специальности

**Направленность/специализация** Пищевая инженерия малых предприятий

**Квалификация выпускника** наименование направленности (профиля) /специализации образовательной программы  
бакалавр  
указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО

**Кафедра-разработчик:** кафедра технологического и холодильного оборудования  
название кафедры-разработчика рабочей программы

Мурманск

2020

Разработчик – Саенкова Ирина Васильевна, доцент кафедрыТХО.

МУ к СР рассмотрены и одобрены на заседании кафедры – разработчика технологического и холодильного оборудования «23» июня 2020г., протокол № 8

## СОДЕРЖАНИЕ

I ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
II ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН	5
III СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	7
IV СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ	7

## **I ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

Целью дисциплины «Процессы и аппараты пищевых производств» является формирование компетенций в соответствии с ФГОС по направлению подготовки бакалавра и учебным планом для направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Задачи дисциплины:

- дать необходимые знания по основным процессам и аппаратам пищевых производств.

В результате изучения дисциплины студент должен:

*Знать:*

- технологические процессы пищевых производств;  
- основное оборудование и аппараты для проведения процессов;  
- физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства и эксплуатации изделий из них под воздействием внешних факторов (нагрева, охлаждения, давления и т.д.).

*Уметь:*

- проводить расчеты процессов и аппаратов пищевых производств, выбирать наиболее рациональные режимы работы оборудования и прогрессивные способы осуществления процесса;

- выбирать рациональные технологические процессы изготовления продукции, эффективное оборудование.

*Владеть:*

- навыками выбора или конструирования наиболее совершенных пищевых аппаратов, методами математического и физического моделирования процессов и аппаратов, экспериментального исследования процессов в пищевой промышленности.

Методические указания предназначены для оказания помощи обучающимся в самостоятельном постижении программы дисциплины. Для успешного

освоения материала следует изучить теоретический материал по литературным источникам, указанным в каждой теме. Подтвердить полученные знания следует практическими расчётами.

## II ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Таблица 1

№ п/п	Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на самостоятельную работу по формам обучения	
		очная	заочная
1	2	3	4
	Модуль 1. Общие понятия и определения.		
1.1	Введение. История развития учения о процессах и аппаратах. <b>Классификация и характеристика процессов пищевой технологии.</b> Основные законы науки о процессах и аппаратах; методы исследования процессов и аппаратов; основные положения теории подобия.	7	12
	Модуль 2. Механические процессы.		
2.1	<b>Измельчение.</b> Физические основы измельчения. Виды и способы измельчения. Классификация измельчительного оборудования.	7	12
2.2	<b>Сортирование.</b> Разделение по размерам и форме частиц. Основы теории ситового анализа. Методы сортирования. Классификация и принципы действия машин для просеивания, фракционирования, сортирования. Оценка качества сортирования. Магнитное сепарирование.	7	12
2.3	Основы теории обработки пищевых продуктов давлением: прессование и формообразование. <b>Прессование:</b> назначение и сущность процесса. Оборудование для обработки пищевых масс давлением.	7	12
2.4	<b>Перемешивание.</b> Критерии эффективности процесса перемешивания. Перемешивание жидких сред: способы. Механическое перемешивание. Конструкции мешалок. Перемешивание сыпучих и пластических материалов. Применение перемешивающих устройств в пищевой промышленности. Расход энергии при механическом перемешивании. Расчет перемешивающих устройств.	7	11
	Модуль 3. Гидромеханические процессы.		
3.1	<b>Насосы и вентиляторы.</b> Насосы динамического действия. Насосы объемного действия. Выбор насосов и вентиляторов.	7	13
3.2	Классификация неоднородных систем. Методы разделения неоднородных систем. <b>Осаждение в гравитационном поле.</b> Кинетика осаждения. Конструкции отстойников периодического и непрерывного действия. Методика расчета отстойников.	7	11
3.3	<b>Осаждение в поле центробежных сил.</b> Сущность процесса. Фактор разделения. Циклоны. Расчет циклонов. Центробежное отстаивание. Центрифуги: классификация. Сепараторы. Применение центрифуг, циклонов и сепараторов в пищевой промышленности.	7	14
3.4	<b>Осаждение в поле электрических сил.</b> Физическая сущность и механизм электроосаждения. Работа электрофильтра. Основы расчета электрофильтров. Принципиальные схемы аппаратов.	7	12
3.5	<b>Взвешенный слой.</b> Условия получения взвешенного слоя.	7	12

	Гидродинамические характеристики взвешенного слоя. Скорость витания частиц. Схемы аппаратов с псевдооживленным слоем.		
3.6	<b>Фильтрация.</b> Теория фильтрации. Фильтрация при постоянном давлении. Фильтрация при постоянной скорости. <b>Центробежное фильтрование.</b> Конструкции фильтров и центрифуг. <b>Мембранные процессы:</b> классификация. Показатели мембранного процесса. Мембранные аппараты.	6	15
	<b>Итого за 5 семестр:</b>	76	136
	Модуль 4. Тепловые процессы.		
4.1	Основные понятия. Способы передачи тепла: конвекция, теплопроводность, тепловое излучение. Основные законы теплообмена. Основное уравнение теплопередачи. <b>Нагревание и охлаждение.</b> Способы нагревания. Способы охлаждения до обыкновенных температур и до температур ниже температуры окружающей среды. <b>Конденсация и кипение.</b> Уравнения теплового баланса процессов.	3	15
4.2	<b>Теплообменники.</b> Классификация и устройство теплообменных аппаратов. Требования, предъявляемые к теплообменным аппаратам пищевых производств. Определение поверхности теплообмена и толщины изоляции аппарата. Способы интенсификации процессов теплообмена.	3	18
4.3	<b>Выпаривание.</b> Теоретические основы процесса выпаривания. Понятие о греющем, вторичном и экстра паре. Изменение свойств раствора при сгущении. Однокорпусная выпарная установка. Материальный и тепловой балансы выпаривания. Классификация и устройство выпарных аппаратов.	5	15
	Модуль 5. Массообменные процессы.		
5.1	Классификация массообменных процессов. Основные законы массопередачи. Равновесие между фазами. Материальный баланс при массопередаче и уравнение рабочей линии процесса. Молекулярная и конвективная диффузия. Аппараты для проведения массообменных процессов. <b>Кристаллизация</b>	5	15
5.2	<b>Сушка.</b> Способы обезвоживания влажных материалов. Закономерности кинетики процесса сушки. Свойства влажного воздуха. Диаграмма состояния влажного воздуха Л.К.Рамзина. Материальный и тепловой балансы конвективной сушки. Кинетика сушки. Динамика сушки. Кривые сушки и скорости сушки. Классификация и схемы сушилок. <b>Копчение и вяление.</b> Копчение и вяление как разновидности процесса сушки. Теоретические основы копчения и вяления.	6	15
5.3	<b>Сорбция.</b> Основные сведения. <b>Абсорбция и адсорбция.</b> Рабочая линия процесса абсорбции. Движущая сила процесса абсорбции. Материальный баланс абсорбции. Влияние температуры и давления в аппарате на процесс абсорбции. Процесс адсорбции. Материальный баланс адсорбции. Адсорбенты и их свойства. Адсорбционные и абсорбционные установки.	6	15
5.4	<b>Перегонка и ректификация.</b> Классификация бинарных смесей. Основные законы перегонки. Простая перегонка. Диаграмма температур и тепловая диаграмма. Понятие о дефлегмации. Ректификация. Материальный и тепловой балансы процесса ректификации. Аппараты для проведения перегонки и ректификации.	6	18
5.5	<b>Экстрагирование.</b> Основы теории экстрагирования. Экстрагенты. Экстрагирование в системе твердое тело-жидкость. Материальный и тепловой балансы процесса экстрагирования. Основы теории экстракции. Равновесие в системе жидкость-	6	16

	жидкость. Треугольная диаграмма. Классификация и конструкции экстракторов.		
	<b>Итого за 6 семестр:</b>	40	127
	<b>Итого:</b>	116	263

### III СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная литература*

1. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

2. 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. - Изд.13-е, стер. - Перепечатка с изд. 1987 г. - Москва : Альянс, 2006. - 575 с.

3. Остриков, А.Н. Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие / А.Н. Остриков ; под редакцией А. Н. Острикова. — Санкт-Петербург : ГИОРД, 2012. — 616 с. — ISBN 978-5-98879-124-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/4887>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### *Дополнительная литература*

4. Процессы и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 1 : учебник для вузов / [А. Н. Остриков и др.] ; под ред. А. Н. Острикова. - Санкт-Петербург: Гиорд, 2007. - 699, [1] с. : ил.

5. Процессы и аппараты пищевых производств : учебник для вузов. В 2 кн. Кн. 2 / [А. Н. Остриков и др.] ; под ред. А. Н. Острикова. - Санкт-Петербург: Гиорд, 2007. - С. 709-1304, [1] : ил.

6. Вобликова, Т.В. Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие / Т.В. Вобликова, С.Н. Шлыков, А.В. Пермяков. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 204 с. — ISBN 978-5-8114-4163-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/115658>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### IV СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Самостоятельная работа бакалавров предполагает работу с литературой, нормативной и технической документацией.

## Тема 1.1

Введение. История развития учения о процессах и аппаратах. **Классификация и характеристика процессов пищевой технологии.** Основные законы науки о процессах и аппаратах; методы исследования процессов и аппаратов; основные положения теории подобия.

**Содержание темы:** движущая сила процессов, признаки классификации технологических процессов, законы сохранения массы и энергии, законы равновесия систем, принципы оптимизации проведения технологических процессов, законы масштабного перехода и моделирования, теоремы подобия, аналитический и экспериментальный методы исследования процессов.

### Рекомендации по изучению

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- кинетические уравнения видов процессов;
- законы составления критериальных уравнений технологических процессов;
- основные свойства пищевых продуктов.

**Рекомендуемая литература** [1], с.11-49; [3]; [4], с.21-71.

### Вопросы для самопроверки:

1. По каким принципам проводится классификация технологических процессов?
2. Как составляются материальный и энергетический балансы аппаратов?
3. Что называют движущей силой процесса?
4. В чем отличие стационарного процесса от нестационарного?
5. Поясните физический смысл теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности, динамической и кинематической вязкости, плотности. Какова размерность этих величин?
6. Что такое критерий подобия?
7. В чем отличие критерия-комплекса от критерия-симплекса?
8. Что называют условиями однозначности?
9. Какие методы моделирования применяют?
10. Что характеризуют начальные и граничные условия однозначности?

## Тема 2.1

**Измельчение.** Физические основы измельчения. Виды и способы измельчения. Классификация измельчительного оборудования.

**Содержание темы:** классификация способов измельчения, поверхностная и объемная теория измельчения, объединяющая теория Ребиндера, факто-



ры, характеризующие процесс измельчения, классификация измельчительного оборудования.

### **Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- признаки классификации измельчения;
- применяемые способы измельчения в зависимости от целей технологии;
- устройство и принцип работы измельчающих машин.

**Рекомендуемая литература** [1], с.634-651; [4], с.490-534; [6].

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Что называют степенью измельчения?
2. Какие виды деформаций при дроблении вы знаете?
3. На что расходуется энергия при измельчении?
4. Как классифицируется измельчающее оборудование?
5. Для каких процессов применяют гомогенизатор, волчок, протирающую машину?

## **Тема 2.2**

**Сортирование.** Разделение по размерам и форме частиц. Основы теории ситового анализа. Методы сортирования. Классификация и принципы действия машин для просеивания, фракционирования, сортирования. Оценка качества сортирования. Магнитное сепарирование.

**Содержание темы:** способы сортирования, дифференциальная и интегральные кривые распределения, характеристики процесса просеивания, механизм магнитного сепарирования. Оборудование для проведения процесса сортирования.

### **Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- характеристики сит;
- признаки, по которым можно разделять объекты пищевой промышленности;
- устройство и принцип работы сортировочного оборудования.

**Рекомендуемая литература** [1], с.703-733; [4], с.535-596; [6].

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Какие вам известны способы сортирования неоднородной системы «твердое тело – твердое тело»?
2. Что называют прямым и косвенным сортированием?
3. От чего зависит сила магнитного воздействия на частицы?

4. Что такое сход и проход (при ситовом анализе)?
5. Что называют калиброванием?
6. Что называют модулем сита?

### Тема 2.3

Основы теории обработки пищевых продуктов давлением: прессование и формообразование. **Прессование:** назначение и сущность процесса. Оборудование для обработки пищевых масс давлением.

**Содержание темы:** механизм протекания процесса прессования, процессы формообразования (прокатывание, нагнетание, округление), классификация машин для обработки пищевых масс давлением.

#### Рекомендации по изучению

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- теория прессования на различных этапах процесса;
- влияние физико-механических свойств продукта и параметров прессования на расход энергии в процессе;
- схемы прессующего оборудования.

**Рекомендуемая литература** [1], с.652-683; [3]; [4], с.641-679.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Что называют прессованием и формообразованием?
2. Для каких технологических целей применяют экструдеры, шнековые прессы, грануляторы?
3. Какие деформации возникают в материале при проведении процесса прессования?
4. Для чего применяют связующие материалы при штамповании?
5. Что называют фильерой?

### Тема 2.4

**Перемешивание.** Критерии эффективности процесса перемешивания. Перемешивание жидких сред: способы. Механическое перемешивание. Конструкции мешалок. Перемешивание сыпучих и пластических материалов. Применение перемешивающих устройств в пищевой промышленности. Расход энергии при механическом перемешивании. Расчет перемешивающих устройств.

**Содержание темы:** перемешивание жидких, пластических и сыпучих материалов, критерии эффективности процесса перемешивания, способы повышения эффективности перемешивания.

#### Рекомендации по изучению

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- эмпирические формулы для определения мощности привода мешалок;
- конструкция и назначение мешалок различных типов.

**Рекомендуемая литература** [1], с.217-235; [2], с.109-142; [3]; [4], с.598-639; [6].

**Вопросы для самопроверки:**

1. Какими способами осуществляют перемешивание?
2. Что такое критерий мощности и как он определяется?
3. Какими критериями оценивают эффективность процесса смешивания?
4. Каково назначение отражателей в сосудах, где проводят перемешивание?
5. Как осуществляется пневматическое перемешивание?
6. Изложите порядок расчета мощности смесителя.

### Тема 3.1

**Насосы и вентиляторы.** Насосы динамического действия. Насосы объемного действия. Выбор насосов и вентиляторов.

**Содержание темы:** классификация насосов и вентиляторов, конструкция основных видов, методика подбора насоса (вентилятора) на сеть.

**Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- отличие насосов объемного действия от насосов динамического действия;
- определение рабочей точки при работе насоса (вентилятора) на сеть.

**Рекомендуемая литература** [1], с.135-184; [2], с.65-90; [4], с.225-306.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что представляет собой рабочая характеристика насоса? Что характеризует рабочая точка насоса?
2. Какова классификация и принцип действия насосов?
3. Как осуществить подбор насоса, работающего на сеть?
4. Какова классификация и принцип действия вентиляторов?
5. Каковы рабочие характеристики вентилятора?
6. В чем отличие полной мощности от полезной при работе вентилятора?

### Тема 3.2

Классификация неоднородных систем. Методы разделения неоднородных систем. **Осаждение в гравитационном поле.** Кинетика осаждения. Конструк-

ции отстойников периодического и непрерывного действия. Методика расчета отстойников.

**Содержание темы:** неоднородные системы, режимы обтекания тел жидкостью, теоретическая и действительная скорость осаждения, отстойники, их устройство и работа

#### **Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- методы определения скорости осаждения при различных режимах движения частиц в среде;
- последовательность расчета отстойника.

**Рекомендуемая литература** [1], с.236-256; [2], с.93-142; [3]; [4], с.307-320.

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. По каким признакам классифицируют неоднородные системы?
2. Что называют скоростью осаждения? Как она рассчитывается для разных режимов осаждения?
3. Каково назначение, устройство и принцип действия отстойника?
4. Что характеризует эффективный размер частиц?
5. В чем состоит расчет отстойника?
6. Какое условие относительно действующих на частицу сил должно выполняться для осуществления процесса гравитационного осаждения?

### **Тема 3.3**

**Осаждение в поле центробежных сил.** Сущность процесса. Фактор разделения. Циклоны. Расчет циклонов. Центробежное отстаивание. Центрифуги: классификация. Сепараторы. Применение центрифуг, циклонов и сепараторов в пищевой промышленности.

**Содержание темы:** механизм разделения неоднородной системы в поле центробежной силы, принцип работы циклона, центрифуги, сепаратора.

#### **Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- виды неоднородных систем, которые можно разделить, используя центробежную силу;
- от каких факторов зависит производительность центрифуг;
- методика расчета циклона.

**Рекомендуемая литература** [1], с.256-268; [2], с.101-142; [4], с.337-349, 389-400; [6].

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Что называют фактором разделения?
2. Каково устройство батарейного циклона?
3. Опишите принцип работы сепаратора.
4. С какой целью применяют центрифугу?
5. Для проведения каких процессов используют гидроциклоны?
6. С какой целью уменьшают размер камер циклонов?
7. Опишите последовательность расчета циклонов.

## **Тема 3.4**

**Осаждение в поле электрических сил.** Физическая сущность и механизм электроосаждения. Работа электрофильтра. Основы расчета электрофильтров. Принципиальные схемы аппаратов.

**Содержание темы:** механизм разделения неоднородной системы в электрофильтре, схемы применяемых аппаратов.

### **Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- физическая сущность процесса электроосаждения;
- правила эксплуатации электрофильтров.

**Рекомендуемая литература** [1], с.257; [3]; [4], с.434-440.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Опишите принцип работы электрофильтра.
2. Что такое коронирующий и осадительный электрод?
3. В чем заключается методика расчета электрофильтров?

## **Тема 3.5**

**Взвешенный слой.** Условия получения взвешенного слоя. Гидродинамические характеристики взвешенного слоя. Скорость витания частиц. Схемы аппаратов с псевдооживленным слоем.

**Содержание темы:** физическая сущность процесса псевдооживления, условия перехода неподвижного слоя твердых частиц во взвешенное состояние, кривая псевдооживления, области применения «кипящего» слоя в пищевой технологии.

### **Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- первая и вторая критическая скорость;

- условия разрушения псевдооживленного слоя.

**Рекомендуемая литература** [1], с.723-724; [2], с.104-142; [3]; [4], с.195-197.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что такое порозность слоя и в каких границах она изменяется?
2. Назовите участки на кривой псевдооживления.
3. Как рассчитать скорость уноса?
4. Назовите преимущества и недостатки процесса псевдооживления.
5. Где применяют аппараты с «кипящим» слоем?
6. От каких параметров зависит гидравлическое сопротивление слоя?

### Тема 3.6

**Фильтрование.** Теория фильтрации. Фильтрация при постоянном давлении. Фильтрация при постоянной скорости. **Центробежное фильтрование.** Конструкции фильтров и центрифуг. **Мембранные процессы:** классификация. Показатели мембранного процесса. Мембранные аппараты.

**Содержание темы:** механизм процессов фильтрования и мембранных процессов, аппараты для осуществления фильтрования и проведения мембранных процессов.

**Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- что характеризуют константы фильтрации;
- методика расчета фильтров;
- классификация фильтров;
- классификация мембранных процессов.

**Рекомендуемая литература** [1], с.269-312; [2], с.98-142; [4], с.320-337, с.442-487.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что является движущей силой процесса фильтрации?
2. Что понимается под скоростью фильтрации?
3. Какова сущность обратного осмоса и микрофильтрации?
4. Какие конструкции мембранных аппаратов вы знаете?
5. Каково основное уравнение фильтрации?
6. Назовите показатели мембранного процесса.

## Тема 4.1

Основные понятия. Способы передачи тепла: конвекция, теплопроводность, тепловое излучение. Основные законы теплообмена. Основное уравнение теплопередачи. **Нагревание и охлаждение.** Способы нагревания. Способы охлаждения до обыкновенных температур и до температур ниже температуры окружающей среды. **Конденсация и кипение.** Уравнения теплового баланса процессов.

**Содержание темы:** виды передачи тепла, простые и сложные тепловые процессы, виды тепловых процессов и аппараты для их проведения.

### Рекомендации по изучению

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- применение теории подобия при расчете тепловых процессов;
- схемы движения теплоносителей;
- составление уравнений тепловых балансов для различных процессов теплообмена;
- способы проведения тепловых процессов (нагревание паром, водой, топочными газами и т.п.)

**Рекомендуемая литература** [1], с.333-350; [2], с.149-247; [3]; [5], с.709-912.

### Вопросы для самопроверки:

1. Какие способы передачи тепла вы знаете?
2. Каков физический смысл коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи?
3. Как рассчитывается средняя разность температур?
4. Напишите основное уравнение теплопередачи.
5. Чем различаются мокрые и сухие конденсаторы?
6. Какие холодильные агенты вы знаете?
7. Что называют замораживанием?

## Тема 4.2

**Теплообменники.** Классификация и устройство теплообменных аппаратов. Требования, предъявляемые к теплообменным аппаратам пищевых производств. Определение поверхности теплообмена и толщины изоляции аппарата. Способы интенсификации процессов теплообмена.

**Содержание темы:** классификация теплообменников, характеристики теплообменных аппаратов, конструкции и принцип работы.

### Рекомендации по изучению

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- методика расчета теплообменников;
- отличительные особенности расчета или конструкции аппарата;
- схемы движения теплоносителей (холодильных агентов).

**Рекомендуемая литература** [1], с.351-365; [2], с.168-247; [5], с.777-831.

**Вопросы для самопроверки:**

1. В чем заключается метод последовательных приближений при определении коэффициента теплопередачи?
2. Как рассчитывается толщина слоя изоляции аппаратов?
3. Каким образом производится компоновка теплообменников?
4. Какие устройства используются для компенсации термических напряжений в кожухотрубчатых теплообменниках?
5. Какой из теплоносителей пропускают по трубам, а какой – в межтрубном пространстве?

**Тема 4.3**

**Выпаривание.** Теоретические основы процесса выпаривания. Понятие о греющем, вторичном и экстра паре. Изменение свойств раствора при сгущении. Однокорпусная выпарная установка. Материальный и тепловой балансы выпаривания. Классификация и устройство выпарных аппаратов.

**Содержание темы:** принцип работы однокорпусной и многокорпусной выпарной установки, основные характеристики процесса выпаривания.

**Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- составление материального и теплового балансов выпарного аппарата;
- методика расчета многокорпусной выпарной установки.

**Рекомендуемая литература** [1], с.366-391; [2], с.247-281; [5], с.915-970; [6].

**Вопросы для самопроверки:**

1. В чем разница между испарением и кипением?
2. Как изменяются свойства продукта при выпаривании?
3. Как рассчитывается температура кипения раствора?
4. Какие температурные потери существуют в выпарном аппарате и как они определяются?
5. Как обеспечивается циркуляция раствора в выпарных аппаратах?
6. Поясните принцип работы многокорпусной выпарной установки.
7. Что такое экстра-пар?



## Тема 5.1

Классификация массообменных процессов. Основные законы массопередачи. Равновесие между фазами. Материальный баланс при массопередаче и уравнение рабочей линии процесса. Молекулярная и конвективная диффузия. Аппараты для проведения массообменных процессов. **Кристаллизация**

**Содержание темы:** классификация массообменных процессов, законы протекания массообменных процессов, оборудование, применяемое для массообменных процессов.

### Рекомендации по изучению

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- применение теории подобия для расчета массообменных процессов;
- устройство и принцип работы массообменных аппаратов;
- механизм протекания процесса кристаллизации.

**Рекомендуемая литература** [1], с.456-483, с.570-590; [2], с.247-276; [3]; [5], с.973-1008, с. 1231-1274.

### Вопросы для самопроверки:

1. Каков физический смысл понятия «термодиффузия»?
2. Что является движущей силой массообменных процессов?
3. Как формулируются законы Генри и Рауля?
4. Каков физический смысл коэффициентов массоотдачи и массопередачи?
5. Что характеризуют рабочая и равновесная линии процесса?
6. Как интенсифицировать процессы массопередачи?
7. Что называют кристаллизацией?

## Тема 5.2

**Сушка.** Способы обезвоживания влажных материалов. Закономерности кинетики процесса сушки. Свойства влажного воздуха. Диаграмма состояния влажного воздуха Л.К.Рамзина. Материальный и тепловой балансы конвективной сушки. Кинетика сушки. Динамика сушки. Кривые сушки и скорости сушки. Классификация и схемы сушилок. **Копчение и вяление.** Копчение и вяление как разновидности процесса сушки. Теоретические основы копчения и вяления.

**Содержание темы:** закономерности кинетики процесса сушки, виды сушилок, методика расчета процессов сушки и копчения.

### Рекомендации по изучению

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- изображение на диаграмме Рамзина действительного и теоретического процесса сушки;
- составление материального и теплового балансов процесса сушки;
- механизм протекания процессов копчения и вяления.

**Рекомендуемая литература** [1], с.507-545; [2], с.423-465; [3]; [5], с.1009-1077.

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Какие формы связи влаги с материалом вы знаете?
2. В чем отличие влажности от влагосодержания?
3. Что характеризует точка росы и температура мокрого термометра?
4. Что характеризует кривая сушки? Какие периоды на ней выделяют?
5. Назовите основные конструкции и принцип работы сушильных аппаратов.
6. Какие виды копчения вы знаете?
7. Каково назначение кондиционера в процессе вяления?

### **Тема 5.3**

**Сорбция.** Основные сведения. **Абсорбция и адсорбция.** Рабочая линия процесса абсорбции. Движущая сила процесса абсорбции. Материальный баланс абсорбции. Влияние температуры и давления в аппарате на процесс абсорбции. Процесс адсорбции. Материальный баланс адсорбции. Адсорбенты и их свойства. Адсорбционные и абсорбционные установки.

**Содержание темы:** рабочая линия процесса абсорбции, виды адсорбентов, организация движения фаз при абсорбции, виды насадок в абсорбционных колоннах,

#### **Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- составление материального баланса процессов сорбции;
- методика расчета адсорбции;
- виды и принцип действия аппаратов, применяемых для проведения сорбционных процессов.

**Рекомендуемая литература** [1], с.556-570; [2], с.282-319, с. 403-423; [5], с.1078-1091, с. 1200-1229; [6].

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Какова физическая сущность процессов абсорбции и адсорбции?
2. Как рассчитать расход абсорбента?
3. Как определяется движущая сила абсорбции?

4. Как влияют температура и давление на процессы адсорбции и абсорбции?
5. Что такое десорбция?
6. Что называют поглотительной способностью адсорбента?

## Тема 5.4

**Перегонка и ректификация.** Классификация бинарных смесей. Основные законы перегонки. Простая перегонка. Диаграмма температур и тепловая диаграмма. Понятие о дефлегмации. Ректификация. Материальный и тепловой балансы процесса ректификации. Аппараты для проведения перегонки и ректификации.

**Содержание темы:** диаграмма температур и тепловая диаграмма для простой перегонки, устройство и принцип работы перегонных кубов и ректификационных колонн.

### Рекомендации по изучению

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- материальный баланс простой перегонки;
- методика графического определения теоретического числа тарелок ректификационной колонны и определения действительного числа тарелок;
- тепловой баланс ректификационной колонны.

**Рекомендуемая литература** [1], с.484-506; [2], с.319-361; [3]; [5], с.1109-1141.

### Вопросы для самопроверки:

1. Какими параметрами характеризуются бинарные смеси?
2. Назовите законы, которым подчиняются процессы перегонки и ректификации.
3. Что называют дефлегмацией и для чего она применяется?
4. Опишите принцип действия многокубовой установки.
5. В чем заключается сущность ректификации?
6. Какова роль флегмы в процессе ректификации?
7. Как происходит разделение многокомпонентных жидких смесей?

## Тема 5.5

**Экстрагирование.** Основы теории экстрагирования. Экстрагенты. Экстрагирование в системе твердое тело-жидкость. Материальный и тепловой балансы процесса экстрагирования. Основы теории экстракции. Равновесие в системе жидкость-жидкость. Треугольная диаграмма. Классификация и конструкции экстракторов.

**Содержание темы:** основы теории экстрагирования и экстракции, треугольная диаграмма, конструкции применяемых экстракторов.

**Рекомендации по изучению**

При изучении данной темы необходимо обратить внимание:

- применения теории подобия для расчета процессов экстракции и экстрагирования;
- основные конструкции и принцип действия экстракционных аппаратов.
- материальный и тепловой балансы экстрагирования.

**Рекомендуемая литература** [1], с.591-615; [2], с.361-403; [3]; [5], с.1143-1198.

**Вопросы для самопроверки:**

1. В чем разница между экстракцией и экстрагированием?
2. Поясните механизм построения процесса экстракции на треугольной диаграмме.
3. Что представляет собой коэффициент массопроводности и от чего он зависит?
4. Какие экстрагенты применяются в пищевой промышленности?
5. Какие факторы оказывают влияние на процесс экстрагирования?