

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологического и холодильного оборудования  
название кафедры

**Методические указания  
по самостоятельной работе**

|   |  |
|---|--|
| <b>Дисциплина</b>                           | <u>Б1.В.07 Специальные процессы пищевых производств</u><br>код и наименование дисциплины   |
| <b>Направление подготовки/специальность</b> | <u>19.06.01 Промышленная экология и биотехнологии</u><br>код и наименование направления подготовки /специальности                          |
| <b>Направленность/специализация</b>         | <u>профиль «Процессы и аппараты пищевых производств»</u><br>наименование направленности (профиля) /специализации образовательной программы |
| <b>Квалификация выпускника</b>              | <u>Исследователь. Преподаватель-исследователь</u><br>указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО                |
| <b>Кафедра-разработчик</b>                  | <u>Технологического и холодильного оборудования</u><br>наименование кафедры-разработчика рабочей программы                                 |

Составитель - Похольченко В.А., канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой технологического и холодильного оборудования,

МУ к СР рассмотрены и одобрены на заседании кафедры - разработчика технологического и холодильного оборудования, «25» июня 2019 г., протокол № 10

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

|   |    |
|---|----|
| 1. ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....                | 4  |
| 2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН.....   | 5  |
| 3. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ..... | 8  |
| 4. СОДЕРЖАНИЕ «Специальные процессы пищевых производств».....     | 10 |

## ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания для самостоятельной работы составлены в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Специальные процессы пищевых производств», разработанной на основе ФГОС ВО для направления 19.06.01 «Промышленная экология и биотехнологии», утвержденного приказом № 884 Министерства образования и науки РФ 30.07.2014 г.

Методические указания для самостоятельной работы предназначены для организации и контроля внеаудиторной самостоятельной работы аспирантов.

Процесс изучения дисциплины «Специальные процессы пищевых производств» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО:

**Таблица 1 – Планируемые результаты обучения**

| № п/п | Код и содержание компетенции   | Степень реализации компетенции   | Этапы формирования компетенции   |
|-------|--|--|--|
| 1     | ПК-2 - владеть системой фундаментальных и прикладных знаний в области процессов и аппаратов пищевых производств  | Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется полностью | <b>Знать</b> классификацию и области применения процессов и аппаратов пищевых производств.<br><b>Уметь</b> применять и использовать накопленный человеческий опыт в научных исследованиях.<br><b>Владеть</b> приемами проведения научных исследований  |
| 2     | ПК-3 - способность адаптировать результаты современных исследований в области процессов и аппаратов пищевых производств и для решения актуальных проблем, возникающих в деятельности организаций и предприятий | Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется полностью | <b>Знать:</b> методики расчета и проектирования процессов и аппаратов пищевых производств<br><b>Уметь</b> рассчитывать существующие и проектировать новые модели процессов и аппаратов пищевых производств<br><b>Владеть</b> математическими методами расчета в технических приложениях процессов и аппаратов пищевых производств. |
| 3     | ПК-4 - готовность осуществлять научно-исследовательскую, научно-производственную и экспертноаналитическую деятельность в области промышленной теплоэнергетики  | Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется полностью | <b>Знать:</b> научно-практические основы изучаемых процессов; методологию научных исследований.<br><b>Уметь</b> оценивать эффективность и результаты научной деятельности в области промышленной теплоэнергетики.<br><b>Владеть</b> приемами проведения научных исследований и экспертно-аналитическую деятельности                |

**Целью дисциплины** (модуля) «Специальные процессы пищевых производств» является подготовка аспирантов по направлению 19.06.01 «Промышленная экология и биотехнологии» направленности «Процессы и аппараты пищевых производств» является подготовка обучающегося в соответствии с квалификационной характеристикой исследователя и преподавателя-исследователя и рабочим учебным планом предполагает освоение обучаемыми теоретических знаний в области специальных процессов пищевых производств.

**Задачи дисциплины** – дать углубленные знания в области специальных процессов пищевых производств: гидромеханических, перемешивания, тепловых, массообменных, обезвоживания, сорбционных, процессов экстрагирования, перегонки, ректификации и др.

**По окончании обучения аспирант должен:**

**Знать:** основные Специальные процессы пищевых производств; теоретические основы изучаемых процессов.

**Уметь:** анализировать, обобщать и делать выводы по результатам изучения специальных процессов пищевых производств; готовить данные для составления отчётов и научных публикаций; внедрять результаты исследований в практику производственного процесса; применять достижения новых технологий.

**Обладать:** навыками расчётов специальных процессов пищевых производств, терминологией, определения-ми и положениями специальных процессов пищевых производств.

**ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН**

| Содержание разделов (модулей), тем дисциплины   | Количество часов, выделяемых на виды учебной подготовки по формам обучения |               |
|---|--|---------------|
|   | Очная форма  | Заочная форма |
| Специальные гидромеханические процессы. Фильтрация. Использование фильтров в пищевой промышленности. Процессы мем-бранного разделения, перспективы развития. Расчет процесса мем-бранного разделения.   | 4  | 6             |
| Перемешивание как возможное повышение интенсивности специальных процессов. Перемешивание в жидкой среде. Механическое перемешивание. Расход энергии при механическом перемешивании. Эффективность применения перемешивания для интенсификации тепло и массообменных процессов.  | 4  | 7             |
| Тепловые процессы в специальных процессах пищевых производств. Способы передачи тепла. Основное уравнение теплопередачи. Тепловой баланс. Способы нагрева: дымовыми газами, электрическим током, СВЧ - энергия, водяным паром, горячей водой и инфракрасным излучением. Материальный и энергетический балансы процессов обжарки, варки и стерилизации. Схемы паровых аппаратов. Способы охлаждения. | 4  | 6             |
| Теоретические основы процесса выпаривания. Изменение свойств раствора при сгущении. Материальный и тепловой балансы выпаривания.  | 4  | 6             |
| Диффузионные или массообменные специальные процессы. Теоретические основы процессов массопередачи. Равновесие между фазами. Материальный баланс при массопередаче и уравнение рабочей линии процесса. Молекулярная и конвективная диффузия.   | 5  | 7             |
| Понятие о термодиффузионных процессах.  |  |               |

|   |           |           |
|---|-----------|-----------|
| Специальные процессы сушки, копчения и вяления. Современное состояние вопроса. Кинетика процесса обезвоживания. Тепловой балансы сушки. Динамика сушки. Кривые сушки и скорости сушки. Тепло- и массопереносе при копчении и вялении.   | 4         | 6         |
| Сорбция как специальный процесс. Основные сведения. Процесс абсорбции. Рабочая линия процесса абсорбции. Влияние температуры и давления в аппарате на процесс абсорбции. Процесс адсорбции. Материальный баланс адсорбции.  | 5         | 7         |
| Экстрагирование как специальный процесс. Экстрагирование в системе жидкость-жидкость и твердое тело-жидкость Способы интенсификации процесса экстракции.  | 4         | 6         |
| Специальные процессы перегонки и ректификации. Классификация бинарных смесей. Основные законы перегонки. Простая перегонка. Дефлегмация. Ректификация. Материальный и тепловой балансы процесса ректификации. Конструкции ректификационных аппаратов.   | 4         | 6         |
| Механические процессы как специальные процессы Измельчение. Физические основы измельчения. Способы измельчения. Дробление твердых материалов. Машины для резки пищевых продуктов. Куттеры. Сортирование. Основы теории ситового анализа. Методы сортирования. Оценка качества сортирования. Электромагнитная сепарация. Прессование. Теория обработки пищевых продуктов давлением: отжатие жидкости, формирование пластических материалов, прессование (брикетирование) | -         | 7         |
| <b>Итого:</b>   | <b>42</b> | <b>64</b> |

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

1. Процессы и аппараты химической технологии : краткий курс : учебное пособие для вузов / П. Б. Громов; Федер. агентство по рыболовству, ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т" [и др.]. - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2012. - 204 с. : ил.
2. Технологические машины и оборудование : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 151000.62 "Технологические машины и оборудование" профиль "Пищевая инженерия малых предприятий" / В. А. Похольченко [и др.]; Федер. агентство по рыболовству, ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2014. - 166 с.
3. Технологическое оборудование рыбоперерабатывающих производств : учеб. пособие [для бакалавров] / С. А. Бредихин, И. Н. Ким, Т. И. Ткаченко. - Москва : МОРКНИГА, 2013. - 736, [12] с. : ил.
4. Сластухин Ю. Н. Техническая эксплуатация судовых холодильных установок : учеб. для вузов по специальности "Эксплуатация судовых энергетических установок" и по направлениям уровня бакалавриата и магистратуры "Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения" / Ю. Н. Сластухин, А. И. Ейдеюс, Э. Е. Елисеев ; под общ. ред. Ю. Н. Сластухин. - Москва : МОРКНИГА, 2014. - 508, [3] с.
5. Новое в технологии переработки рыбы и производстве продуктов из рыбы = Novelties in Technology of Fish Processing and Fish Products : учеб. пособие для вузов / И. В. Смирнова;

Федер. агентство по рыболовству, ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2012. - 139 с.

- б. Выполнение технологических расчетов : учеб. пособие для вузов / Е. Г. Туршук; Федер. агентство по рыболовству, ФГОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2011. - 139 с.
7. Математические методы расчетов химических процессов : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подгот. 04.04.01 "Химия", 18.04.01 "Химическая технология", 18.04.02 "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии" / Н. Г. Воронько; Федер. агентство по рыболовству, ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2015. - 171 с.

## **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Электронно-библиотечная система «IPRbooks». Лицензионный договор № 4979/19 от 01.04.2019 г. на оказание услуг по предоставлению доступа. Исполнитель ООО Компания

«Ай Пи Ар Медиа». Срок действия документа: с 20.04.2019 г. по 20.04.2020 г.  
<http://www.iprbookshop.ru>

2. ЭБС «Консультант студента». Договор № 19/37 от 11.03.2019 г. на оказание услуг по предоставлению доступа к базе данных «Электронная библиотека технического ВУЗа» Исполнитель ООО «Политехресурс». Срок действия документа: с 21.04.2019 г. по 20.04.2020 г. : <http://www.studentlibrary.ru>

## **Перечень программного обеспечения, профессиональных баз данных и информационных справочных систем, реквизиты подтверждающего документа**

### **Программное обеспечение**

1. Операционная система Microsoft Windows Vista Business Russian Academic OPEN, лицензия № 44335756 от 29.07.2008 (договор №32/379 от 14.07.08г.)
2. Офисный пакет Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN, лицензия № 45676388 от 08.07.2009 (договор 32/224 от 14.0.2009г.)
3. Офисный пакет Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN, лицензия № 47233444 от 30.07.2010 (договор 32/285 от 27 июля 2010г.)
4. Система оптического распознавания текста ABBYY FineReader Corporate 9.0 (сетевая версия), 2009 год (договор ЛЦ-080000510 от 28 апреля 2009г.)
5. Антивирусная программа (договор №7689 от 23.07.2018 на программу Антивирус Dr.Web Desktop Security Suite)

### **Профессиональные базы данных**

БД «EBSCO». Сублицензионный договор № 45.49/19.85 от 09.01.2019 г. на оказание услуг по предоставлению доступа и использованию Баз данных и входящих в его состав электронных изданий компании EBSCO. Исполнитель ООО «Центр Научной Информации НЭИКОН».

Срок действия документа: с 01.01.2019 г. по 31.12.2019 г. <https://www.ebsco.com>

## **Информационные справочные системы**

1. «SLOVARI.RU. ПОИСК ПО СЛОВАРЯМ» <https://www.slovari.ru>
2. «СЛОВАРИ И ЭНЦИКЛОПЕДИИ НА АКАДЕМИКЕ» <https://dic.academic.ru>

### **СОДЕРЖАНИЕ «Специальные процессы пищевых производств»**

#### **Модуль 1**

Введение. Возникновение и развитие науки о процессах и аппаратах. **Основные законы науки о процессах и аппаратах.** Классификация и характеристика процессов пищевой технологии. Задачи дисциплины. Связь данной дисциплины с другими дисциплинами.

#### **Литература**

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

#### **Целевая установка**

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** основные понятия и определения; основные законы науки о спец процессах и аппаратах; классификацию спец процессов пищевой технологии;
- **уметь** применять основные законы к любому технологическому процессу.

#### **Методические указания**

Необходимо рассмотреть развитие науки «Специальные процессы пищевых производств», научный и практический вклад отечественных и зарубежных учёных. Рассмотреть основные понятия, такие как *процесс, технология, машина, аппарат*. При изучении основных групп технологических процессов обратить внимание на движущую силу, определяющую протекание каждого процесса.

#### **Вопросы для самопроверки по модулю 1**

1. Что называют движущей силой процесса?
2. Какие основные группы процессов выделяют в науке о процессах и аппаратах?
3. Сформулируйте основные законы, позволяющие создать теорию любого процесса.

#### **Модуль 1**

**Методы исследования процессов и аппаратов.** Основные физико-технические свойства сырья и продуктов пищевой промышленности. **Основные положения и теории подобия.**

## Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

## Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** основные свойства веществ и закономерности их изменения; методы исследования технологических спец процессов; основные положения теории подобия.
- **уметь** создавать физические и математические модели процессов и аппаратов; использовать модели процессов для исследования объектов.

## Методические указания

При расчете любого спец процесса необходимо учитывать свойства рабочих тел или теплофизические характеристики обрабатываемых продуктов. К теплофизическим свойствам относятся: плотность, вязкость, коэффициент поверхностного натяжения, удельный вес, удельная теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, коэффициенты объемного и температурного расширения и т.д. При изучении теплофизических характеристик необходимо обратить внимание на то, как величины зависят от температуры и давления, и каким образом они будут меняться в процессе.

При рассмотрении методов изучения технологических процессов необходимо выделить достоинства и недостатки каждого.

При изучении теории подобия необходимо усвоить понятия критерия- комплекса и критерия-симплекса, виды условий однозначности (геометрические, физические, граничные, временные и начальные), запомнить формулировки теорем подобия.

## Вопросы для самопроверки по модулю 1

1. Что такое вязкость?
2. Какая связь существует между различными единицами вязкости?
3. Что называют теплоёмкостью?
4. Что называют теплопроводностью?
5. Какие существуют методы изучения процессов?
6. В каком случае используется теория подобия для моделирования процессов?
7. Что такое критерий-симплекс и критерий-комплекс?
8. Сформулируйте теоремы подобия.
9. Что относится к условиям однозначности?
10. Что такое гомохронность?

## Модуль 2

Фильтрация. Теория фильтрации. Стационарная и нестационарная фильтрация. Классификация фильтрующих перегородок. Фильтрация при постоянном давлении. Фильтрация при постоянной скорости. Фильтрация для жидкостей и фильтрация для газов. Фильтрующие центрифуги. Конструкции фильтров. Использование фильтров в рыбной промышленности. **Мембранные процессы: микрофильтрация, ультрафильтрация, обратный осмос. Мембранные аппараты.**

## Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

### Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** методы и способы проведения процесса фильтрации, основные типы фильтров, методы интенсификации процесса, аппараты для проведения процесса фильтрации.
- **уметь** выбрать способ фильтрования и рассчитать и оформить машино-аппаратурную схему процесса.

### Методические указания

Фильтрация - один из самых распространенных процессов пищевых производств. В процессе фильтрации поток суспензии проходит через пористую перегородку (фильтр), способную пропускать жидкость или газ и задерживать взвешенные частицы.

Чтобы заставить жидкий или газовый поток пройти через пористую перегородку, необходимо создать перепад давлений по обе стороны фильтрующей перегородки. В некоторых случаях фильтрация суспензий проводится в центробежном поле (центрифугирование).

Скорость фильтрации определяется объемом фильтрата, проходящего через  $1 \text{ м}^2$  поверхности фильтрующей перегородки в единицу времени.

Объем осадка, образовавшегося на фильтре, равен произведению его площади  $F$  на толщину слоя осадка  $h$ .

По мере образования осадка на фильтре и увеличения его толщины возрастает сопротивление фильтрации и, следовательно, скорость фильтрации уменьшается. В связи с этим скорость фильтрации может быть выражена дифференциальным уравнением.

Уравнение описывает процесс фильтрации при постоянном перепаде давлений. Константы фильтрации вычисляются по результатам предварительно проведенных экспериментов.

Процессами мембранного разделения смесей, или мембранными процессами, называются процессы разделения смесей посредством полунепроницаемых мембран. Мембранные процессы применяют для очистки и концентрирования растворов; разделения близки кипящих компонентов, отделения высокомолекулярных веществ от низкомолекулярных растворителей; глубокой очистки сточных вод и т.п.

Сущность процесса заключается в тесном соприкосновении смеси с полунепроницаемой мембраной, и прошедший через неё фильтрат вследствие особых свойств мембраны обогащается одним из компонентов смеси. Не прошедшая через мембрану смесь компонентов в виде концентрата выводится из аппарата. Процесс характеризуется двумя основными параметрами: проницаемостью и селективностью.

К основным мембранным методам относятся обратный осмос, ультра- фильтрация, испарение через мембрану, диализ, электродиализ, диффузионное разделение газов. Необходимо рассмотреть сущность каждого из методов, их движущую силу, основные закономерности.

Для объяснения механизма переноса веществ при мембранном разделении можно воспользоваться одной из трех теорий:

Теория просеивания. Сущность теории сводится к теории сит, т.е. через поры в мембране проходят молекулы растворителя, но не проходят молекулы растворённых веществ;

Теория молекулярной диффузии. Основана теория на разных значениях коэффициента диффузии разделяемых компонентов в полимерных мембранах и их неодинаковой растворимости.

Теория капиллярно-фильтрационной проницаемости. Основана эта теория на различии физико-химических свойств граничного слоя на поверхности мембраны и в объёме. Граничный слой вблизи мембраны обладает упорядоченной структурой и отличается составом, вязкостью, растворяющей способностью и т.п. Граничный слой на мембране образует плёнку толщиной  $\delta$ . В этом слое связанная вода теряет растворяющую способность по отношению к солям, находящимся в объёме раствора. Эта вода под действием перепада давлений перетекает из граничного слоя по капиллярам через мембрану, если размеры капилляров меньше размеров ионов соли. Реальные мембраны имеют поры разных размеров, в том числе и крупные, поэтому часть гидратированных ионов соли может проникать через крупные капилляры. Можно сделать вывод, что селективность мембран тем выше, чем больше толщина граничного слоя и чем больше размеры ионов соли.

### Вопросы для самопроверки по модулю 2

1. Что называется фильтрацией?
2. Понятие о фильтрате.
3. Из чего складывается сопротивление фильтрации?
4. От чего зависит скорость фильтрации?
5. Понятие о стационарной и нестационарной фильтрации.
6. Как влияет толщина слоя осадка на скорость фильтрации?
7. Виды фильтрующих перегородок.
8. Что характеризует константы фильтрации  $K$  и  $g$ ?
9. Методика определения констант фильтрации.
10. Как изменяется производительность фильтра с течением времени?
11. В чём сущность процессов обратного осмоса и ультрафильтрации?
12. Что называют диализом, электродиализом?

### Модуль 2

Перемешивание. Перемешивание в жидкой среде. Механическое перемешивание. Расход энергии при механическом перемешивании и аэрации. Эффективность перемешивания. Конструкции мешалок. Применение перемешивающих устройств в рыбной промышленности.

#### Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

#### Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** способы перемешивания смесей и методы расчёта мешалок, основные виды механических мешалок, струйное и пневматическое перемешивание.
- **уметь** выбрать оптимальный способ перемешивания и рассчитать устройство для перемешивания.

## Методические указания

Перемешиванием называется процесс приведения в тесное соприкосновение сыпучих, жидких или газообразных тел.

Процесс перемешивания широко распространён во всех отраслях пищевой промышленности. Его применяют при получении суспензий, эмульсий, смесей твердых сыпучих веществ и пластических материалов. Потребность в перемешивании возникает в производстве всякий раз, когда требуется интенсифицировать процесс тепло- или массообмена.

Аппараты, предназначенные для перемешивания материалов, называются смесителями. Устройство, с помощью которого осуществляется перемешивание материалов в смесителях, называется мешалкой. Механическое перемешивание жидкостей осуществляется мешалками различных конструкций. Наибольшее применение получили лопастные, пропеллерные и турбинные.

При условии геометрического подобия обобщенное критериальное уравнение для определения мощности на валу мешалки имеет вид

$$K = C Re^m Fr^n N$$

Для аппаратов с вращающимися механическими мешалками определяющим линейным размером следует принять диаметр мешалки  $d_m$ . Так как действительную скорость движения жидкости определить трудно, то эту величина заменяют пропорциональной величиной - произведением  $\pi d_m n$  где  $n$  - частота вращения мешалки, об/с, а вместо потери давления вводят значение потребляемой мешалкой мощности  $N$ , Вт.

В тех случаях, когда на поверхности однородной жидкости не образуется воронка (например, при установке отражательных перегородок), влияние силы тяжести будет незначительным и уравнение можно упростить:

$$K = C Re^m .$$

## Вопросы для самопроверки по модулю 2

1. В каких отраслях пищевой промышленности применяется процесс перемешивания?
2. Почему в инженерных расчётах мешалок скорость движения жидкости в аппаратах заменяют произведением частоты вращения на диаметр мешалки?
3. Как измеряют мощность на валу мешалки?
4. Физический смысл критериев Рейнольдса, Фруда и мощности.
5. Что называется эффективностью перемешивания?
6. Как зависит эффективность перемешивания от режима движения жидкости в аппарате?

## Модуль 3

**Тепловые процессы. Основные законы теплопередачи.** Способы передачи тепла: конвекция, теплопроводность и излучение. Основное уравнение теплопередачи. Определение расхода теплоносителя. Способы термической обработки продуктов: нагревание и охлаждение, замораживание и размораживание, стерилизация, обжарка и варка. Нагревание и охлаждение. Способы нагревания: дымовыми газами, электрическим током, СВЧ- энергия, водяным паром, горячей водой и инфракрасным излучением. Материальный и энергетический балансы процессов обжарки, варки и стерилизации. Схемы паровых аппаратов. Способы охлаждения.

## Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

### Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** способы передачи тепла, основное уравнение теплопередачи, определение расхода теплоносителя, способы термической обработки продуктов.
- **уметь** составлять материальный и энергетический балансы процессов теплообменных процессов - обжарки, варки и стерилизации. Знать схемы тепловых и паровых аппаратов. Способы охлаждения и аппараты для их проведения.

### Методические указания

Процессы, скорость которых определяется скоростью подвода или отвода тепла, называются теплообменными. К ним относятся нагревание, охлаждение, конденсация, кипение.

Нагревание - это повышение температуры обрабатываемых материалов путём подвода тепла. Охлаждение - понижение температуры веществ путём отвода от них тепла. Конденсация - сжижение паров путём отвода тепла. Кипение - перевод в парообразное состояние веществ путем подвода тепла. Частным случаем испарения является выпаривание растворов путём удаления растворителя в виде паров.

В тепловых процессах взаимодействуют не менее двух сред, называемых теплоносителями. Самопроизвольно тепло передается только от горячего теплоносителя к холодному. Теплоноситель с большей температурой, называется греющим, с меньшей температурой - нагреваемым. Различают однофазные теплоносители и многофазные.

Основной характеристикой теплового процесса является количество передаваемого тепла, которое определяется из основного уравнения теплопередачи для установившегося процесса.

Из основного уравнения теплопередачи определяют поверхность теплообмена аппарата.

Тепло может передаваться тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Необходимо рассмотреть каждый вид передачи тепла более подробно (в чём сущность, для каких тел характерен). В большинстве случаев тепло распространяется одновременно двумя-тремя способами, т.е. происходит сложный теплообмен.

Необратимый процесс переноса тепла в пространстве с неоднородным полем температуры называется теплообменом. *Температурное поле* - это совокупность значений температуры во всех точках области пространства в данный момент времени. Геометрическое место точек, имеющих одинаковую температуру, называется *изотермической поверхностью*. Предел отношения изменения температура  $t$  к расстоянию между изотермическими поверхностями по нормали  $n$  называется температурным.

Для характеристики интенсивности распространения теплоты в температурном поле вводят понятия плотности теплового потока, т.е. количества теплоты, передаваемой через единицу площади изотермической поверхности в единицу.

Количественную взаимосвязь между температурным полем и интенсивностью распространения в нём теплоты устанавливает закон Фурье, или основной закон теплопроводности.

Сложный процесс теплообмена в большинстве случаев не может быть решён с помощью дифференциальных уравнений. Поэтому на практике пользуются уравнениями подобия.

Методами теории подобия получено следующее общее уравнение подобия

$$Nu=f(Re,Gr,Pr,Fo),$$

Для большинства конкретных случаев имеются соответствующие уравнения подобия.

В большинстве случаев распространение тепла осуществляется одновременно теплопроводностью, конвекцией и излучением. Такой теплообмен называется сложным.

Одним из важнейших случаев сложного теплообмена является процесс распространения тепла одновременно конвекцией и тепловым излучением.

Количество тепла, отдаваемое стенкой в единицу времени при одно- временном распространении тепла конвекцией и лучеиспусканием определится по формуле

$$Q_o = Q_l + Q_k = a_o (t_c - t_o)F,$$

где  $Q_l$  и  $Q_k$  - количество тепла переданное излучением и конвекцией соответственно;

$F$  - площадь теплообмена;

$t_c$  и  $t_o$  - температура стенки и окружающей среды;

$a_o = a_l + a_k$  - общий коэффициент теплоотдачи, где  $a_l$  - коэффициент теплоотдачи излучением;

$a_k$  - коэффициент теплоотдачи конвекцией.

Теплопередача - это сложный теплообмен между теплоносителями через твердую стенку. Количество тепла при этом определяется основным уравнением теплопередачи

$$Q = K \Delta t_m F,$$

где  $K$  - коэффициент теплопередачи, характеризующий скорость теплового процесса от одного теплоносителя к другому.

Величина  $1/K$ , обратная коэффициенту теплопередачи, представляет собой общее термическое сопротивление теплопередачи. В случае теплопередачи через многослойную стенку, необходимо учитывать термическое сопротивление всех слоев

Движущей силой тепловых процессов является разность температур между теплоносителями или температурный напор. Следует различать среднюю температуру теплоносителей, по которой определяют основные тепло- физические характеристики среды, и средний температурный напор.

Наибольшее распространение в пищевой промышленности получили следующие методы нагревания: водяным паром, промежуточными теплоносителями, электрическим током.

При нагревании паром различают нагревание "острым" паром и "глухим" паром. Нагревание острым паром происходит при непосредственном введении пара в нагреваемую жидкость. При этом конденсат смешивается с жидкостью. Нагревание глухим паром производится, когда жидкость не может взаимодействовать с водой или её нельзя разбавлять. В этом случае нагревание происходит через разделяющую стенку.

При нагревании промежуточным теплоносителем требуемый расход теплоносителя можно определить из уравнения теплового баланса.

По способу превращения электрической энергии в тепловую различают печи сопротивления, индукционные и дуговые. Электрические печи сопротивления делятся на прямого и косвенного действия.

При нагревании токами высокой частоты продукт помещается между обкладками конденсатора. Под действием переменного тока молекулы колеблются со скоростью, соответствующей частоте электрического поля, при этом вследствие трения выделяется тепло.

Для охлаждения обычно используют наиболее доступные теплоносители - воду, воздух, лед.

Охлаждение воздухом и водой проводят в различных теплообменных устройствах, где теплоносители могут быть разделены стенкой или контактируют непосредственно.

Охлаждение льдом проводят в случае, когда продукт необходимо довести до температуры близкой к  $0^{\circ}\text{C}$ . Лёд обычно вносят непосредственно в продукт, при этом лёд нагревается до  $0^{\circ}\text{C}$  и плавится, отнимая теплоту плавления от охлаждаемого продукта.

### Вопросы для самопроверки по модулю 3

1. Что такое свободная конвекция?
2. Что является движущей силой процесса теплообмена при свободной конвекции?
3. Какова разница в процессе теплообмена в неограниченном и ограниченном пространстве?
4. Какова физическая сущность коэффициента теплоотдачи конвекцией и лучеиспусканием?
5. Как определяется количество тепла, выделенного электрическим нагревательным элементом?
6. Как экспериментально определить коэффициент теплоотдачи конвекцией?
7. Как определить коэффициент теплоотдачи с помощью критериального уравнения?
8. Что характеризуют критерии Нуссельта, Грасгофа, Прандтля?
9. Из чего складывается общее термическое сопротивление при передаче теплоты от горячего теплоносителя к холодному?
10. В чём различие между коэффициентом теплоотдачи и коэффициентом теплопередачи по физическому смыслу?
11. Какие существуют виды передачи тепла?
12. Назовите основные способы нагрева и охлаждения.
13. Что такое температурное поле?

### Модуль 3

Теплообменники. Классификация теплообменных аппаратов. Требования, предъявляемые к теплообменным аппаратам пищевых производств. Ре-генеративные и рекуперативные теплообменники. Определение поверхности теплообмена и толщины изоляции аппарата. Калориферы. **Конденсаторы и конденсация.** Конструкции калориферов и конденсаторов. Способы интенсификации процессов теплообмена.

#### Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

#### Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** типы теплообменных аппаратов, методы расчета теплообменников, способы интенсификации процесса теплообмена.
- **уметь** рассчитать теплообменный аппарат, выбрать оптимальный вариант теплообменника.

## Методические указания

Аппараты, предназначенные для проведения теплообменных процессов, называются теплообменными или теплообменниками. По принципу действия теплообменные аппараты подразделяются на рекуперативные, регенеративные и смешительные.

Основной задачей при расчете теплообменников является определение требуемой поверхности теплообмена  $F$ , которую определяют из основного уравнения теплопередачи:  $Q = KF \Delta t$ ,

Порядок расчета теплообменного аппарата:

1. Из уравнения теплового баланса определяют недостающие параметры (расход или температуру одного из теплоносителей);
2. Определяют теплофизические параметры (плотность, вязкость, теплоемкость, теплопроводность и т.п.) обоих теплоносителей;
3. Определяют средний температурный напор (в общем случае по формуле средней логарифмической разности температур);
4. По соответствующим уравнениям подобия рассчитывают коэффициенты теплообмена;
5. Выбирают или рассчитывают термические сопротивления стенки и загрязнений;
6. Определяют коэффициент теплопередачи;
7. Определяют поверхность теплопередачи.

В зависимости от конструктивного исполнения рекуператоры разделяют на кожухотрубные (одноходовые и многоходовые), двухтрубные, змеевиковые, пластинчатые, спиральные, оросительные, специальные и на трубчатые аппараты.

Если разность температур между кожухом и трубами превышает  $25^\circ\text{C}$ , то температурные напряжения могут вызвать разрушение аппарата. Поэтому для таких условий применяют кожухотрубные теплообменники с различными компенсаторами температурных удлинений. К таким аппаратам относятся теплообменники с «плавающей» головкой, в которых одна из трубных решеток не соединена с кожухом и может свободно перемещаться вдоль оси теплообменника, теплообменники с линзовым компенсатором на корпусе, деформации в котором компенсируются осевым сжатием или расширением этого компенсатора.

Трубы в трубной решетке размещают несколькими способами: по сторонам и вершинам правильных шестиугольников; по сторонам и вершинам квадратов и по концентрическим окружностям. Наибольшее распространение нашел первый способ размещения труб.

Конденсация. Различают два вида конденсации – поверхностную или просто конденсацию, при которой пар и охлаждающий агент разделены стенкой, и конденсацию смешением, когда конденсирующие пары непосредственно соприкасаются с охлаждающим агентом.

Поверхностная конденсация осуществляется в поверхностных конденсаторах.

Конденсация смешением. Эффективность работы конденсаторов смешения находится в прямой зависимости от поверхности соприкосновения охлаждающей воды и пара, поэтому воду обычно распыляют при помощи различных устройств.

Различают мокрые и сухие, прямоточные и противоточные конденсаторы смешения.

## Вопросы для самопроверки по модулю 3

1. Назовите основные виды теплообменников.
2. Чем отличается конденсатор от охладителя?

3. Приведите порядок расчёта теплообменного аппарата.
4. Приведите возможные пути повышения эффективности работы теплообменного аппарата.
5. Какие замеры надо сделать, чтобы определить среднюю движущую силу процесса теплопередачи в теплообменнике?
6. Из чего складывается полное гидравлическое сопротивление теплообменника?
7. Что такое компенсация температурных удлинений?

### Модуль 3

Выпаривание. Теоретические основы процесса выпаривания. Понятие о греющем, вторичном и экстрапаре. Изменение свойств раствора при сгущении. Однокорпусная установка. Материальный и тепловой балансы выпаривания. Выбор числа корпусов. Классификация выпарных аппаратов. Примеры использования выпарных установок в пищевой промышленности.

#### Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

#### Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** назначение процесса выпаривания, методы выпаривания, способы повышения эффективности процесса.
- **уметь** рассчитать процесс и выбрать оптимальный выпарной аппарат для его проведения.

#### Методические указания

Выпаривание - процесс концентрации растворов путём удаления летучего растворителя. Выпаривание производят при температуре кипения, т.е. при условиях, когда давление над раствором равно давлению в рабочем объёме аппарата.

Для нагревания раствора до температуры кипения можно применять любой теплоноситель, но, как правило, используют водяной пар, который называют греющим или первичным паром. Вторичным (соковым) паром называется пар, образующийся из выпариваемых растворов.

По мере сгущения раствора его физические свойства изменяются. Это необходимо учитывать при расчете и эксплуатации выпарной аппаратуры.

Процесс выпаривания можно проводить под атмосферным и избыточным давлением или под вакуумом.

Выпаривание может осуществляться в одном аппарате (однокорпусная выпарная установка), либо в ряде последовательно соединённых аппаратах (многокорпусная установка).

В однокорпусных выпарных установках тепло греющего пара используется однократно, а вторичный пар обычно не используется.

В многокорпусных установках вторичный пар предыдущего корпуса используется в качестве греющего пара для последующего корпуса, в котором раствор кипит при более низком давлении.

Различают также выпарные аппараты периодического и непрерывного действия.

При расчете выпарной установки определяют:

- 1) Количество выпаренной воды при заданных начальной и конечной концентрациях;
- 2) Расход греющего пара;
- 3) Поверхность нагрева выпарного аппарата.

Отношение расхода пара к количеству выпаренной воды называют удельным расходом пара. На практике считают, что на образование 1 кг вторичного пара в однокорпусной выпарной установке расходуется 1,1 - 1,2 кг первичного пара. В многокорпусных установках, в которых головные корпуса работают под давлением, а хвостовой корпус под разрежением, благодаря использованию тепла, значительно снижается удельный расход пара. Однако снижение удельного расхода пара происходит не прямо пропорционально.

Поверхность нагрева выпарного аппарата определяется из основного уравнения теплопередачи.

В зависимости от взаимного движения упариваемого раствора и греющего пара различают прямоточные, противоточные и установки с параллельным питанием. Корпуса нумеруются от головного, в который подается греющий пар.

Обычно в многокорпусных выпарных установках не весь вторичный пар направляется на обогрев последующего корпуса. Часть вторичного пара отбирается на обогрев других теплообменных аппаратов. Такой пар называют экстрапаром.

Наиболее простым методом расчета многокорпусной выпарной установки является метод Классена. При расчёте принимают следующие допущения:

- 1) раствор поступает в корпус перегретым, а эффект самоиспарения компенсируется тепловыми потерями;
- 2) 1 кг греющего пара выпаривает из раствора 1 кг воды, т.е. образует 1 кг вторичного пара.

Метод даёт вполне удовлетворительные результаты для расчета двух и трехкорпусных установок. Погрешность в определении выпаренной воды и расхода пара возрастает с увеличением числа корпусов. Наибольшая ошибка имеет место для последнего корпуса, работающего под вакуумом, т.к. в последнем корпусе наблюдается наибольший эффект самоиспарения и наименьшие потери тепла.

### Вопросы для самопроверки по модулю 3

1. Что такое выпаривание?
2. Как изменяются свойства продуктов при выпаривании?
3. Методы выпаривания.
4. Что такое температурная депрессия и каких видов она бывает?
5. В чём разница между полной и полезной разностью температур?
6. Из чего складывается тепловой баланс выпарной установки?
7. Опишите устройство однокорпусной выпарной установки.
8. Многокорпусные выпарные установки.
9. Виды выпарных аппаратов. 10. Порядок расчёта выпарной установки.

### Модуль 4

**Массообменные процессы. Основные теории массопередачи.** Общие сведения и закономерности массообменных процессов. Равновесие между фазами. Материальный баланс при массопередаче и уравнение рабочей линии процесса. Молекулярная и

конвективная диффузия. Понятие о термодиффузионных процессах. Применение массообменных аппаратов в пищевой промышленности.

## Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

## Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** способы переноса вещества, уравнения описывающие процесс, виды массообменных процессов, кривые равновесия, определение числа ступеней концентрации, движущую силу процесса.
- **уметь** определить вид массообменного процесса, построить рабочую линию и определить число ступеней концентрации, определить пути оптимизации массообменного процесса и выбрать аппарат для его проведения.

## Методические указания

Массообменные процессы - это процессы, сущность которых составляет перенос вещества из одной фазы в другую.

К ним относятся: сушка - удаление влаги из влажных материалов путём её испарения. К сушке можно отнести и процесс копчения. При копчении процесс сушки сопровождается замещением удаленной влаги компонентами дыма, обладающими антисептическими свойствами, что повышает стойкость продуктов при хранении и придаёт им специфический ароматный вкус.

Сорбционные процессы (абсорбция, адсорбция и десорбция) - процесс поглощения каким-либо телом газов, паров или растворённых веществ из окружающей среды.

Экстрагирование - извлечение из сложного по составу вещества (твёрдого или жидкого) одного или нескольких компонентов с помощью растворителя, обладающего избирательной растворимостью.

Кристаллизация - возникновение и рост кристаллов.

Перегонка - однократное частичное испарение жидкой смеси и конденсация образующихся паров. Ректификация - многократное частичное испарение жидкой смеси и конденсация образующихся паров с целью разделения компонентов, входящих в жидкую смесь.

Массопередача - это массообмен между двумя фазами, разделёнными поверхностью раздела.

Перенос массы в каждой из фаз может осуществляться двумя способами: молекулярной диффузией и конвективным переносом или массоотдачей. Первый способ связан с тепловым движением структурных частиц (атомов, молекул и др.), второй - с перемещением молярных объёмов среды, т.е. объёмов, состоящих из большого числа частиц.

Скорость массопередачи прямо пропорциональна движущей силе процесса и обратно пропорциональна сопротивлению.

В общем случае процесс массопередачи состоит из трёх последовательных этапов: диффузии компонента к межфазной поверхности, перехода через неё и диффузии в объём второй фазы.

Движущей силой массопередачи является разность концентраций компонента в данной фазе, т.е. рабочей концентрации и концентрацией компонента, равновесной с другой фазой. Количество вещества, переходящее из одной фазы в другую, называют диффузионным потоком.

Основное уравнение массопередачи записывается в виде

$$M=K*\Delta C*F,$$

где  $M$  - количество вещества, кг/с;

$K$  - коэффициент массопередачи,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кг}/\text{м}^3)$ ;  $\Delta C$

- движущая сила,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$F$  - площадь поверхности массопередачи,  $\text{м}^2$ .

Основным условием протекания процесса является нарушение равно- весия между фазами из-за изменения температуры или давления. Процесс при этом будет происходить до восстановления равновесия. При приближении системы к состоянию равновесия движущая сила и скорость процесса уменьшается.

Классификация массообменных процессов проводится по следующим признакам: по агрегатному состоянию фаз, по способу контакта и характеру взаимодействия.

Массообменные процессы в пищевой промышленности могут протекать в системе с твёрдым телом (твёрдое тело - жидкость, твёрдое тело - газ; к ним относятся кристаллизация, экстракция, адсорбция, сушка, сублимация, ионный обмен) и процессы без твёрдой фазы (жидкость - жидкость, жидкость - газ; к ним можно отнести жидкостную экстракцию, ректификацию, абсорбцию, сушку жидких продуктов).

По способу контакта различают процессы с непосредственным контактом, контактом через мембраны и контактом без границы раздела фаз.

По способу взаимодействия фаз различают периодические и непрерывные процессы, последние подразделяются на противоточные, прямоточные, смешения и комбинированные.

Уравнение  $Y = (L/G) X + (GY_k - X_n)/G$  называется уравнением рабочей линии и показывает, что концентрация вдоль поверхности меняется по линейному закону. По расположению рабочей линии можно судить о направлении процесса. По таким диаграммам можно определять основные параметры процесса.

Молекулярная диффузия осуществляется в результате движения молекул какого-либо компонента из области высоких концентраций в область с меньшей концентрацией. Молекулярная диффузия описывается первым законом Фика.

Конвективная диффузия представляет собой перенос распределяемого компонента в движущейся фазе (жидкость, газ) при турбулентном режиме. В ядре потока вещество перемещается к границе раздела фаз за счёт перемещения молярных частей среды, т.е. конвективной диффузии. Конвективная диффузия подчиняется закону Шукарева.

Термодиффузия - перемещение частиц вещества за счёт разности температур. В результате термодиффузии происходит разделение компонентов. Массопроводность или внутренняя диффузия - данный перенос вещества осуществляется внутри твёрдого вещества. Данный перенос описывается вторым законом Фика.

Целью инженерных расчётов является определение поля концентраций распределяемого компонента в твёрдом теле и количества передаваемой массы по истечению любого количества времени.

Движущей силой массообменных процессов является положительная разность между рабочей и равновесной концентрациями в любой из фаз. Движущая сила редко бывает постоянной, она меняется вдоль поверхности раздела фаз. Для расчётов необходимо знать среднюю движущую силу  $U_{\text{ср}}$  или  $X_{\text{ср}}$ .

#### Вопросы для самопроверки по модулю 4

1. Назовите виды массообменных процессов.
2. Что является движущей силой массообменного процесса?
3. Как определить число ступеней концентрации?
4. Назовите способы переноса вещества.

5. Определите способы интенсификации массообменных процессов.
6. Как рассчитать движущую силу процесса?

#### Модуль 4

Сушка. Способы обезвоживания влажных материалов. Закономерности кинетики процесса обезвоживания продуктов. Свойства влажного воздуха. Диаграмма состояния влажного воздуха Л.К.Рамзина. Изображение основных процессов на диаграмме (нагревание и охлаждение, сушка и увлажнение). Материальный и тепловой балансы конвективной сушки. Процессы, происходящие в теоретической и действительной сушилке. Кинетика сушки. Динамика сушки. Кривые сушки и скорости сушки. Классификация и схемы сушилок. Применение сушки в пищевой промышленности.

Копчение и вяление. Копчение и вяление как разновидность процесса сушки. Общие сведения о тепло- и массопереносе при копчении и вялении. Топливо, используемое в процессе копчения. Дымогенерация и дымогенераторы. Коптильная жидкость. Схемы коптильных установок. Копчение в электростатическом поле. Внешний и внутренний массоперенос коптильных компонентов. Продолжительность горячего и холодного копчения.

#### Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

#### Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** способы обезвоживания влажных материалов, закономерности кинетики процесса обезвоживания продуктов, материальный и тепловой балансы сушки. Методы обезвоживания пищевых продуктов. Способы копчения, виды коптильных, сушильных установок и дымогенераторов. Способы генерации дыма и их расчёт.
- **уметь** рассчитать процесс сушки и копчения пищевых продуктов, выбрать наиболее рациональный режим ведения процесса, обеспечить машино аппаратурное оформление процесса.

#### Методические указания

Сушка - способ консервирования путём тепловой обработки продукции, при котором удаляется значительное количество влаги, что замедляет жизнедеятельность бактерий и повышает сроки хранения. При копчении процесс сушки сопровождается замещением удалённой влаги компонентами дыма, обладающими антисептическими свойствами, это повышает стойкость продуктов при хранении и придаёт им специфический ароматный вкус.

В качестве сушильных агентов при сушке применяются воздух и дымовые газы. Для сушки пищевой продукции применяют только воздух. Для копчения продуктов применяют дымовоздушную смесь. При этом дым вырабатывается в устройствах называемых дымогенераторами.

Влага, находящаяся в продукте, подразделяется на несвязанную (поверхностную и капиллярную) и связанную (осмотическую и химическую). При сушке и копчении удаляется несвязанная влага.

Сушка осуществляется двумя основными способами:

- 1) нагреванием влажных материалов через твердую непроницаемую перегородку

или контактной сушкой;

2) нагреванием влажных материалов путем непосредственного контакта с теплоносителем или газовая и воздушная конвективная сушка.

Иногда тепло подводится материалу токами высокой частоты (диэлектрическая сушка) или инфракрасными лучами (инфракрасная сушка). Сушка при глубоком вакууме в условиях отрицательных температур называется сублимационной сушкой. Для рыбной промышленности характерна одна из разновидностей сушки - вяление - медленное подсушивание и созревание слабосоленой рыбы при температуре сушильного агента не выше  $35^{\circ}\text{C}$ .

Влажный материал состоит из влаги и сухих веществ. Для оценки влаги в материале используют понятия: влажность материала относительно общей массы  $w$ , влажность материала относительно абсолютно сухого материала  $w_c$  и влагосодержание материала  $u$ .

В качестве сушильного агента при сушке продуктов обычно применяют влажный воздух, т.е. смесь сухого воздуха и водяного пара. Свойства влажного воздуха как сушильного агента определяются абсолютной и относительной влажностью, влагосодержанием, энтальпией, температурой и др.

Для расчетов процесса сушки и копчения удобно пользоваться I-x диаграммой, построенной Л.К.Рамзиным в 1918 году. С помощью диаграммы можно проследить изменение состояния влажного воздуха в различных процессах.

При взаимодействии влажного воздуха и материала влага из воздуха будет переходить в материал или наоборот до достижения равновесия. Влажность материала в этом равновесном состоянии называется равновесной влажностью.

При сушке влага перемещается в материале в направлении от центра к периферии, где материал омывается сушильным агентом. Это диффузионный процесс, движущей силой которого является разность концентраций влаги в различных слоях материала.

Наряду с концентрационным при сушке имеет место и температурный градиент, в результате которого наблюдается действие термовлагопроводности. Влага при этом перемещается в направлении потока тепла, т.е. внутрь материала.

Сушка состоит из трех этапов: перемещения влаги внутри материала из центра к поверхности, парообразования и перемещения пара от поверхности в окружающую среду.

Для анализа изменения влажности и температуры материала строят кривые сушки. Кривой сушки называется графическая зависимость влажности или влагосодержания материала от времени проведения процесса, т.е.  $W = f$ . С помощью кривой сушки можно оценить величину скорости сушки, под которой понимают уменьшение влажности материала в единицу времени. Скорость сушки определяют графическим дифференцированием кривой сушки и представляют графически как зависимость  $dW/dt=f(W)$ .

В процессе сушки можно выделить несколько характерных периодов. В начальный момент времени температура материала поднимается от  $t_n$  до  $t_m$  и скорость сушки увеличивается до максимального значения. В следующий период времени скорость сушки и температура материала постоянны. При достижении некоторой критической влажности  $W_{кр}$  скорость сушки начинает уменьшаться и по мере приближения влажности материала к равновесной  $W_p$  стремиться к нулю. Температура материала при этом растёт и приближается к температуре сушильного агента.

#### Вопросы для самопроверки по модулю 4

1. Какой процесс называют сушкой?
2. Что такое влагосодержание материала?
3. Что называют скоростью сушки?

4. Что является движущей силой процесса сушки?
5. Что такое равновесное влагосодержание материала?
6. Что такое критическое влагосодержание материала?
7. Что характеризует кривая сушки?
8. На какие характерные участки можно разбить кривую сушки?
9. Что характеризует кривая скорости сушки?
10. Как определяется начальное влагосодержание материала?
11. В чём преимущество сушки во взвешенном слое по сравнению с сушкой того же материала в неподвижном слое?
12. Справедливы ли при сушке во взвешенном слое представления о периодах постоянной и падающей скоростей сушки?
13. Чем теоретическая сушилка отличается от действительной, и как изображаются на диаграмме Рамзина теоретический и действительный процессы сушки?
14. В чём заключается физическая сущность передачи тепла инфракрасными лучами?
15. Свойства различных тел в отношении лучистой энергии.

#### Модуль 4

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

#### Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

#### Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** виды сорбционных процессов, материальный и тепловой балансы процессов, методы проведения процесса, основы расчёта аппаратов для проведения абсорбции, адсорбции и десорбции.
- **уметь** рассчитать процесс и выбрать тип аппарата, обеспечить наиболее близкие к оптимальным параметры ведения процесса.

#### Методические указания

Сорбционным процессом называется процесс поглощения каким-либо телом газов, паров или растворённых веществ из окружающей среды.

Абсорбция - это избирательный процесс поглощения одного или нескольких компонентов газовой смеси жидким поглотителем (абсорбентом).

Адсорбция - это процесс поглощения газов или паров поверхностью твёрдого тела (адсорбента).

Десорбция - процесс выделения газа или паров поглотителями.

Поглощение газов или паров при абсорбции может происходить либо за счёт растворения газов в жидкости (физическая абсорбция), либо за счёт химической реакции с абсорбентом (хемосорбция).

Процесс адсорбции описывается законом Генри.

Движущей силой процесса является разность концентраций, которая в данном случае пропорциональна парциальному давлению газа. Поэтому движущую силу можно выразить как разность парциальных давлений компонентов в газовой  $p_g$  и жидкой  $p_{ж}$  фазах. Если  $p_g > p_{ж}$ , то компонент из газовой фазы переходит в жидкую, т.е. наблюдается процесс собственно адсорбции, если  $p_g < p_{ж}$ , то компонент переходит из жидкой фазы в газовую - процесс де- сорбции.

Процесс адсорбции на промышленных установках проводят в основном в противоточных аппаратах.

Уравнение материального баланса устанавливает зависимость между концентрацией поглощаемого компонента в обеих фазах и количеством носителя. Линия, соответствующая этому уравнению, построенная в координатах X-Y будет прямой линией. Эту линию называют рабочей линией. Для адсорбции рабочая линия проходит выше линии равновесия.

Построение рабочей линии абсорбера даёт возможность графически определить число ступеней концентрации. Эффективность работы аппарата оценивается числом ступеней концентрации.

В технике используют следующие принципиальные схемы абсорбционных процессов: прямоточные, противоточные, одноступенчатые с рециркуляцией и многоступенчатые с рециркуляцией. Многоступенчатые схемы с рециркуляцией могут включать прямоток, противоток, рециркуляцию жидкости и рециркуляцию газа. Большое практическое значение имеет многоступенчатая противоточная схема с рециркуляцией жидкости в каждой ступени.

Десорбция, т.е. процесс выделения газа или паров поглотителями, осуществляется путём взаимодействия встречных потоков регенерируемого абсорбента и десорбирующего газа, обычно водяного пара, нагреванием абсорбента или понижением давления. Десорбция является процессом, обратным адсорбции.

Адсорбция - это процесс поглощения газов или паров поверхностью твердого тела (адсорбента).

Характерной особенностью адсорбции является избирательность и обратимость. Различают физическую и химическую адсорбцию. Физическая адсорбция имеет место при взаимном притяжении молекул адсорбтива и адсорбента под действием сил Ван-дер-Ваальса. При поглощении паров адсорбция может сопровождаться конденсацией паров.

Химическая адсорбция характеризуется образованием химических связей между молекулами поглощённого вещества и адсорбента, что является результатом химической реакции.

Наибольшее распространение в пищевой промышленности в качестве адсорбентов нашли активированный уголь, костяной уголь, целлюлозная масса, силикагель и др.

Основными характеристиками адсорбентов являются:

1. Удельная поверхность - величина поверхности, приходящаяся на единицу массы или объёма адсорбента;
2. Активность адсорбента - предельное количество вещества, которое может поглотить единица массы адсорбента.

Адсорбенты характеризуются также плотностью, пористостью, эквивалентным диаметром гранул, гранулометрическим составом и механической прочностью.

#### Вопросы для самопроверки по модулю 4

1. Какой процесс называют сорбцией?
2. Что такое адсорбция?
3. Что такое адсорбция?
4. Что такое десорбция?

5. Что является движущей силой процесса?
6. Как определить материальный баланс процесса абсорбции?
7. Как определить материальный баланс процесса адсорбции?
8. Как определить тепловой баланс процесса абсорбции?
9. В чём заключается физическая сущность сорбционных процессов?
10. Что такое изотерма адсорбции?
11. Как оценивается эффективность работы аппарата?
12. Какие используют принципиальные схемы абсорбционных процессов?
13. Что такое хемосорбция?

#### **Модуль 4**

Экстрагирование. Сущность и назначение процесса экстрагирования. Экстрагирование в системе твердое тело-жидкость. Основы теории экстрагирования. Классификация и конструкция экстрактов. Материальный и тепловой балансы процесса экстрагирования. Способы интенсификации процесса экстракции. Применение экстракторов в пищевой промышленности.

#### **Литература**

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

#### **Целевая установка**

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** сущность и назначение процесса экстрагирования, экстрагирование в системе твёрдое тело-жидкость и жидкость-жидкость, основы теории экстрагирования.
- **уметь** рассчитывать различные виды экстракторов и владеть способами интенсификации процесса экстракции.

#### **Методические указания**

Процесс экстракции происходит в результате непрерывного движения молекул растворителя и растворенного вещества. Чем выше температура, тем интенсивнее это движение и тем скорее произойдет выравнивание концентрации во всех точках объема, занимаемого раствором. Поэтому процесс экстракции стремятся вести при возможно более высокой температуре, которая в общем случае лимитируется технологическими соображениями.

Для большей эффективности процесса важно иметь измельченное сырье, т. к. в этом случае увеличивается удельная активная поверхность. Однако степень измельчения ограничивается гидродинамическими условиями, создающимися в том или ином аппарате.

Извлечение жидкостью из пористого тела каких-то веществ, растворенных в жидкости, которая заполняет поры, определяется двумя взаимосвязанными процессами. Один из них обеспечивает подвод вещества из глубинных слоев сырья к поверхности, второй – переход этого вещества с поверхности материала в поток экстрагирующей жидкости.

### Вопросы для самопроверки по модулю 4

1. Какой процесс называют экстракцией?
2. Что является движущей силой процесса?
3. Как рассчитать материальный баланс процесса?
4. Как рассчитать тепловой баланс процесса?
5. В чём заключается физическая сущность процесса?
6. Как оценивается эффективность работы аппарата?
7. Какие используют принципиальные схемы экстракторов?

### Модуль 4

Перегонка и ректификация. Сущность и назначение процесса перегонки. Классификация бинарных смесей. Основные законы перегонки. Простая перегонка. Понятие о дефлегмации. Ректификация. Материальный и тепловой балансы процесса ректификации. Определение расхода греющего пара и охлаждающей воды для ректификационной установки. Схема установки конструкции ректификационных аппаратов.

#### Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

#### Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** процессы перегонки и ректификации, методы расчёта, основные типы аппаратов, способы оптимизации и интенсификации процесса;
- **уметь** подобрать нормализованный аппарат или сконструировать новый для осуществления процесса перегонки или ректификации.

#### Методические указания

Перегонка и ректификация — наиболее распространенные методы разделения жидких однородных смесей, состоящих из двух или нескольких летучих компонентов.

Процессы перегонки и ректификации основаны на различной летучести компонентов смеси при одной и той же температуре. Компонент смеси, обладающий большей летучестью, называется легколетучим, а компонент, обладающий меньшей летучестью, труднолетучим. Соответственно легколетучий компонент кипит при более низкой температуре, чем труднолетучий. Поэтому их называют также низкокипящим и высококипящим компонентами.

В результате перегонки или ректификации исходная смесь разделяется на дистиллят, обогащённый легколетучим компонентом, и кубовый остаток, обогащённый труднолетучим компонентом. Дистиллят получают в результате конденсации паров в конденсаторе-дефлегматоре. Кубовый остаток получают в кубе установки.

В простейшем случае исходная смесь состоит из двух компонентов.

Такая смесь называется бинарной.

Состояние системы определяют три независимых параметра: давление  $p$ , температура  $t$ , концентрация  $x$ . При выборе любых двух параметров определяется значение третьего. Следовательно, равновесную зависимость можно представить, используя две переменные величины ( $p$  и  $x$ ,  $t$  и  $x$ ,  $p$  и  $t$ ,  $x$  и  $y$ ).

В зависимости от взаимной растворимости компонентов бинарные смеси можно разделить на смеси с неограниченной растворимостью компонентов, с взаимно нерастворимыми компонентами, с частичной растворимостью компонентов друг в друге. Смеси с неограниченной растворимостью компонентов по своему поведению делятся на идеальные и реальные (растворы).

Идеальные смеси подчиняются **з а к о н у Р а у л я**.

В реальных смесях следует учитывать силы взаимодействия молекул паровой фазы, их собственный объем и т. д.

Температура кипения смеси  $t_{см}$  не зависит от состава жидкой смеси. Температура кипения смеси всегда ниже температур кипения чистых компонентов.

Перегонка представляет собой процесс однократного частичного испарения жидкой смеси и конденсации образовавшихся паров.

Простая перегонка может проводиться с отбором фракций, с дефлегмацией, с водяным паром или под вакуумом (молекулярная перегонка).

#### Вопросы для самопроверки по модулю 4

1. Какой процесс называют перегонкой?
2. Какой процесс называют ректификацией?
3. Что является движущей силой процесса?
4. Как рассчитать материальный баланс процесса?
5. Как рассчитать тепловой баланс процесса?
6. В чём заключается физическая сущность процесса?
7. Как оценивается эффективность работы аппарата?
8. Какие используют принципиальные схемы аппаратов?

#### Модуль 5

**Механические процессы. Измельчение.** Физические основы измельчения. Способы измельчения. Дробление твердых материалов. Классификация способов дробления. Схемы основных типов дробилок. Дробилки для крупного, среднего и тонкого измельчения. Машины для резки рыбных продуктов.

#### Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

#### Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** основные методы измельчения; понятие степени измельчения; устройство основных типов машин для измельчения.
- **уметь** назначить наиболее эффективный метод измельчения в зависимости от свойств обрабатываемого материала и подобрать соответствующее оборудование для его осуществления.

## Методические указания

При изучении данной темы необходимо ознакомиться с теориями измельчения: по-верхностной, объёмной и Ребиндера.

### Вопросы для самопроверки по модулю 5

1. Что называют степенью измельчения?
2. Какие методы измельчения существуют?
3. Опишите основные типы дробилок.
4. Какие процессы называют дроблением и размолом?
5. Назовите способы измельчения материала.
6. В чем отличие крупного, среднего и мелкого дробления, тонкого и коллоидного помола?
7. Составьте принципиальные схемы щековой, валковой и молотковой дробилок.

## Модуль 5

**Сортирование.** Разделение по размерам и форме частиц. Основы теории ситового анализа. Методы сортирования. Классификация и принципы действия машин для просеивания, фракционирования, сортирования рыбы. Оценка качества сортирования. Электромагнитная сепарация. Прессование. Назначение и сущность процесса прессования. Основы теории обработки пищевых продуктов давлением: отжатие жидкости, формование пластических материалов, прессование (брикетирование). Машины для обработки материалов давлением. Прессы для отделения жидкости. Прессы для формовки пластических масс. Прессы для брикетирования материалов. Применение прессов в рыбной промышленности.

### Литература

[1], [2], [3], доп. литература [1], [2], [3], [4]

### Целевая установка

В результате изучения данной темы студент должен:

- **знать** способы и методы классификации сыпучих смесей по форме и размерам частиц; методы прессования и гранулирования пищевых продуктов
- **уметь** рассчитывать процессы сортирования и оценивать качество процесса.

## Методические указания

В процессе сортирования происходит распределение материалов по группам (фракциям) в соответствии с их размерами и свойствами. Одним из видов сортирования является разделение сыпучих смесей с помощью сит на фракции по форме и размерам частиц.

Просеивающие устройства – сита – делятся на металлические пробивные, металлические (проволочные) и неметаллические. Форма отверстий может быть различной (круглая, квадратная, прямоугольная) в зависимости от назначения сит.

Ситовой анализ проводится для определения фракционного состава сыпучих материалов. Он осуществляется с помощью специального набора сит, которые устанавливают друг над другом. Диаметр отверстия в этих ситах уменьшается постепенно от верхнего

сита к нижнему. В процессе просеивания получают материал, который задержался на каждом сите (так называемый "сход") и просев ("проход"), прошедший через последнее мелкое сито.

Сыпучие материалы принято характеризовать размером сита, задерживающего их со знаком "плюс". Так сырье, прошедшее через металлическое сито № 3 и задержанное ситом № 2, обозначается так: фракция (-3, +2) мм.

Сущность процесса прессования заключается во внешнем давлении на обрабатываемый материал при помощи прессов. При этом могут преследоваться следующие цели:

- 1) отделение жидкости от твердого тела, что связано с фильтрацией отжимаемой жидкости через капилляры осадка. Одновременно наблюдается уплотнение и брикетирование осадка;
- 2) придание пластическим телам определенной геометрической формы (формование и штампование);
- 3) связывание частиц зернистых материалов в более крупные агрегаты определенной формы при помощи связующей жидкости и соответствующего давления.

При отделении жидкости от твердого тела, принимая во внимание фильтрацию жидкости в порах материала, можно прийти к практически важным выводам: 1) нерационально увеличивать толщину слоя и, следовательно, увеличивать объем отжимаемой массы; 2) продукт при отжатии необходимо нагревать, если позволяет технология.

Рассматривая формование пластических материалов, необходимо заметить, что течение пластических вязких тел не подчиняется закону Ньютона для истинно вязких жидкостей. Течение пластических тел связано с релаксацией. Релаксацией называется уменьшение напряжения в теле при постоянной, фиксированной деформации. Для пластически вязких тел время релаксации имеет определенную продолжительность, характеризующую механические свойства тела.

Прессование (брикетирование) происходит в специальных формах (матрицах) при помощи пуансонов, сжимающих материал.

Степень уплотнения массы зависит от величины прилагаемого давления, свойств массы, конструктивных особенностей пресса и режима прессования.

### **Вопросы для самопроверки по модулю 5**

1. Что такое ситовый анализ материала?
2. Что такое дифференциальная и интегральная кривые распределения и как их строят?
3. Как определяют средневзвешенный диаметр частиц?
4. Что такое «сход» и «проход» материала?
5. Что называют живым сечением сита?
6. Для чего применяют прессование в пищевой промышленности?
7. От каких величин зависит средняя плотность брикета?