

ФГОУ ВПО СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Н. Ю. Сарбатова, О. В. Сычева,  
Е. Э. Епимахова**

# **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Учебно-методическое пособие

Ставрополь  
«АГРУС»  
2007

УДК 664  
ББК 36.81  
С20

**Авторы:**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры технологии производства и переработки  
сельскохозяйственной продукции Ставропольского ГАУ  
*Н. Ю. Сарбатова;*

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии  
производства и переработки сельскохозяйственной продукции  
Ставропольского ГАУ  
*О. В. Сычева;*

кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры технологии производства и переработки  
сельскохозяйственной продукции Ставропольского ГАУ  
*Е. Э. Епимахова*

**Рецензент**

доктор технических наук, профессор  
*В. Ю. Фролов*

**Сарбатова Н. Ю.**

С20      Процессы и аппараты пищевых производств : учебно-методическое пособие / Н. Ю. Сарбатова, О. В. Сычева, Е. Э. Епимахова. – Ставрополь : АГРУС, 2007. – 48 с.

В данном учебно-методическом пособии рассмотрены основные процессы пищевой технологии, приведены конструкции наиболее распространенных в пищевой промышленности типовых аппаратов и машин. В конце каждого раздела для закрепления знаний студентов приведены вопросы для самоконтроля.

Предназначено для студентов заочной формы обучения по специальности 110305.65 – «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции».

УДК 664  
ББК 36.81

© Коллектив авторов, 2007  
© АГРУС, 2007

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Процессы и аппараты пищевых производств» относится к области переработки сельскохозяйственной продукции и является относительно новой для вузов сельскохозяйственного профиля. Ее появление обусловлено двумя причинами: во-первых, общим развитием инфраструктуры сельскохозяйственного производства; во-вторых, развитием экономических отношений в сельском хозяйстве. В сельском хозяйстве в массовом количестве возникают мини-производства по переработке продукции растениеводства и животноводства, поэтому расширяется круг процессов и оборудования, которым приходится заниматься технологю сельскохозяйственного производства.

Поэтому **целью преподавания данной дисциплины** является формирование необходимых теоретических знаний об основных законах технологических процессов: законах сохранения массы и энергии, их взаимопереноса при соблюдении равновесия систем, определения движущей силы и критериев оптимизации технологического процесса, основ расчета материального и энергетического баланса процессов и аппаратов пищевых производств.

Студент **должен знать** сущность и назначение механических, гидромеханических, тепловых и массообменных процессов; основные факторы, влияющие на их движущую силу; методы расчета и подбора аппаратов для конкретного назначения.

Студент **должен уметь** применять теоретические знания и практические навыки для расчета процессов и выбора аппаратов пищевых производств.

Программа курса соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта по специальности 110305.65 – «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции», а также примерной программе дисциплины «Процессы и аппараты пищевых производств», рекомендованной Минобразованием России для этой специальности.

## УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего	Количество часов, в том числе		
			лекции	лаб.- практич.	самост. обучение
1	Введение. Задачи курса «Процессы и аппараты пищевых производств». Основные понятия и определения	4	2	—	2
2	Гидромеханические и механические процессы	38	2	4	32
3	Теплообменные и массообменные процессы	38	2	4	32
	<b>ИТОГО</b>	<b>80</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>66</b>

# **СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Задачи курса**

### **«Процессы и аппараты пищевых производств». Основные понятия и определения**

Курс «Процессы и аппараты пищевых производств» является специальным переходным курсом от общего цикла дисциплин к специальным для технологов пищевых производств.

Современное учение о процессах и аппаратах опирается на прочный фундамент химии, физики, математики, ряда инженерных и экономических дисциплин: механики, теплотехники, электротехники, материаловедения, промышленной экономики и других смежных областей знания, которые являются базой курса. Однако как наука учение о процессах и аппаратах имеет свой ясно очерченный предмет, свои экспериментальные и расчетные методы и теоретические закономерности. В курсе «Процессы и аппараты пищевых производств» изучаются совокупность физических и биохимических процессов и пути осуществления в промышленном производстве различных проектов в конкретных технико-экономических условиях. При этом обращается особое внимание на их экономическую целесообразность.

Анализ различных технологических схем сельскохозяйственного сырья показывает, что они содержат типовой набор процессов, которые можно подразделить на следующие 5 групп: гидродинамические, тепловые, массообменные (диффузионные), биохимические и механические. Эти процессы совершенно аналогичны типовым процессам химической технологии, различие состоит только в свойствах обрабатываемых сред и характере протекания процесса.

Курс является теоретической основой пищевой технологии, позволяющей проанализировать и рассчитать параметры процесса, определить их оптимальные значения, разработать и рассчитать технические характеристики аппаратов для его проведения. В нем изучаются закономерности масштабного перехода от лабораторных процессов и аппаратов к промышленным. Знание этих закономерностей необходимо для проектирования и создания современных многотоннажных промышленных процессов пищевой технологии.

Технологи пищевой промышленности должны быть специалистами с широким кругозором, понимающими научные принципы аппаратурно-технологического оформления процессов, умеющими оценить основные технико-экономические характеристики оборудования и выбрать оптимальные, выявить резервы повышения интенсивности и экономичности процессов, снижения расходных норм и себестоимости продукции. Они должны также владеть методами научных исследований для повышения эффективности производства.

Развитие науки о процессах и аппаратах позволило создать систему понятий и научно обоснованную классификацию процессов пищевой технологии.

В курсе «Процессы и аппараты пищевых производств» используются следующие основные понятия:

**Производственный процесс** [от лат. processus – продвижение] – это совокупность последовательных действий для достижения определенного результата.

**Технология** – это ряд приемов, проводимых направленно с целью получения из исходного сырья продукта с заданными свойствами. Задача технологии как науки заключается в выявлении физических, химических, механических и других закономерностей с целью определения и использования на практике наиболее эффективных и экономичных производственных процессов.

**Технологический аппарат** [от лат. apparatus – оборудование] – это устройство, приспособление, оборудование, предназначенное для проведения технологических процессов.

**Машина** – устройство, выполняющее механические движения с целью преобразования энергии или материалов. Технологические машины преобразуют форму, свойства и положение обрабатываемого материала.

Все многообразие основных процессов пищевой технологии в зависимости от закономерностей их протекания можно свести к пяти основным группам: гидромеханические, теплообменные, массообменные, механические, биохимические.

**Гидромеханические процессы** – это процессы, скорость которых определяется законами механики и гидродинамики. К ним относятся процессы перемещения жидкостей и газов по трубопроводам и аппаратам, перемешивания в жидких средах, разделения суспензий и эмульсий путем отстаивания, фильтрования, центрифугирования, псевдооживления зернистого материала.

**Теплообменные процессы** – это процессы, связанные с переносом теплоты от более нагретых тел (или сред) к менее нагретым. К ним относятся процессы нагревания, пастеризации, стерилизации, охлаждения, конденсации, выпаривания и т. п. Скорость тепловых процессов определяется законами теплопередачи.

**Массообменные, или диффузионные, процессы** – процессы, связанные с переносом вещества в различных агрегатных состояниях из одной фазы в другую. К ним относятся: абсорбция и десорбция, перегонка и ректификация, адсорбция, экстракция, растворение, кристаллизация, увлажнение, сушка, сублимация и др. Скорость массообменных процессов определяется законами массопередачи.

**Механические процессы** – это процессы чисто механического взаимодействия тел. К ним относятся процессы измельчения, классификации (фракционирования) сыпучих материалов, прессования и др.

**Химические и биохимические процессы** – процессы, связанные с изменением химического состава и свойств вещества, скорость протекания которых определяется законами химической кинетики.

# 1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

## 1.1. Классификация неоднородных систем

Неоднородными, или гетерогенными, называют системы, состоящие как минимум из двух фаз: *дисперсной* (внутренней), обычно находящейся в тонкораздробленном состоянии, и *дисперсионной* (внешней), окружающей частицы дисперсной фазы.

**Суспензии** состоят из жидкой дисперсионной и твердой дисперсной фаз. В зависимости от размера взвешенных твердых частиц суспензии делятся: на *грубые* с частицами размером  $> 100$  мкм; *тонкие*, когда размеры твердых частиц составляют  $0,1 \dots 100$  мкм, и *коллоидные* растворы, содержащие твердые частицы размером  $\leq 0,1$  мкм.

**Эмульсии** состоят из двух жидких фаз, не растворяющихся одна в другой: дисперсионной и дисперсной. Размер частиц дисперсной фазы может колебаться в значительных пределах. Под действием гравитационной силы эмульсии обычно расслаиваются, однако тонкие эмульсии с размером капель дисперсной фазы менее  $0,4 \dots 0,5$  мкм, а также содержащие стабилизаторы, становятся устойчивыми и не расслаиваются в течение продолжительного времени.

**Пыли и дымы** состоят из газовой дисперсионной и твердой дисперсной фаз. Образуются пыли обычно при дроблении, смешивании и транспортировке твердых материалов. Размеры твердых частиц пылей составляют от 3 до 70 мкм. Дымы образуются при горении. Размер твердых частиц в дымах составляет  $0,3 \dots 5$  мкм.

**Туманы** состоят из газовой дисперсионной и жидкой дисперсной фаз. Туманы образуются при конденсации. Размер жидких капель в тумане —  $0,3 \dots 3$  мкм. Пыли, туманы и дымы представляют собой аэрозоли.

## 1.2. Методы разделения

К гидромеханическим процессам относятся процессы осаждения взвешенных в жидкой или газообразной среде частиц под действием гравитационной силы (осаждение), центробежной силы (центробежное осаждение) или сил электрического поля; фильтрование жидкостей или газов через пористую перегородку под действием разности давлений (фильтрование и центробежное фильтрование); перемешивание в жидкой среде; псевдооживление и др.



В пищевых производствах часто возникает задача разделения неоднородных систем на составные части. Так, в производстве вина требуется его осветление, т. е. отделение взвешенных твердых частиц от жидкой фазы; пивное сусло отделяют от дробины; в производстве сахара суспензию после сатурационных аппаратов разделяют с целью получения сока, а разделяя утфель, получают кристаллический сахар. В производствах, где для получения продукта (сухого молока, молочно-овощных концентратов) используются распылительные сушилки, отходящие газы улавливаются и очищаются во избежание уноса ценных продуктов и загрязнения окружающей среды.

Основные методы разделения неоднородных систем в пищевой промышленности — *осаждение, фильтрация и центрифугирование.*

**Осаждение** — процесс разделения жидких и газовых неоднородных систем под действием гравитационных сил, сил инерции (центробежной силы) или сил электрического поля. Соответственно разделяют *гравитационное отстаивание, циклонное и отстойное центрифугирование, электроочистку.*

**Отстаивание** — это частный случай разделения неоднородных жидких или газообразных систем в результате выделения твердых или жидких частиц под действием гравитационной силы. Применяют отстаивание при грубом разделении суспензий, эмульсий и пылей. Этот способ разделения характеризуется низкой скоростью процесса. Отстаиванием не удастся полностью разделить неоднородную смесь на дисперсную и дисперсионную фазы. Однако простое аппаратное оформление процесса и низкие энергетические затраты определили широкое применение этого метода разделения в пищевой и смежных отраслях промышленности.

Отстаивание проводят в аппаратах различных конструкций, называемых *отстойниками*. Отстойники бывают *периодического, непрерывного и полунепрерывного* действия.

**Фильтрация** — процесс разделения жидких и газовых неоднородных систем с использованием пористой перегородки, способной пропускать жидкость и газ, но задерживающей взвешенные частицы. Фильтрация осуществляется под действием сил давления или центробежных сил. Соответственно различают *простое фильтрация и центробежное фильтрация.*

Интенсивность фильтрации зависит от качества суспензий, полученных на предыдущих стадиях технологического процесса:

дисперсной системы с пониженным сопротивлением осадка, без смолистых, слизистых и коллоидных веществ.

При разделении неоднородных систем фильтрованием возникает необходимость выбора конструкции фильтра или фильтрующей центрифуги, фильтровальной перегородки, режима фильтрования.

В качестве фильтрующих материалов применяют зернистые материалы: песок, гравий для фильтрования воды, различные ткани, картон, сетки, пористые полимерные материалы, керамику и т. д.

По целевому назначению процесс фильтрования может быть *очистным* или *продуктовым*.

Очистное фильтрование применяют для разделения суспензий, очистки растворов от различного рода включений. В этом случае целевым продуктом является *фильтрат*. В перерабатывающей и пищевой промышленности очистное фильтрование используют при осветлении вина, виноматериалов, сыворотки, пива и других продуктов.

Назначение продуктового фильтрования – выделение из суспензии диспергированных в них продуктов в виде осадка. Целевым продуктом является *осадок*. Примером такого фильтрования является разделение дрожжевых суспензий.

По принципу действия фильтровальное оборудование делится на оборудование, работающее при постоянном перепаде давления либо при постоянной скорости фильтрования. По способу создания перепада давления на фильтровальной перегородке – на работающее под вакуумом либо под избыточным давлением. В зависимости от организации процесса – на оборудование непрерывного и периодического действия.

Фильтрование более эффективно для разделения суспензий, эмульсий и пылей, чем осаждение.

*Мокрое разделение* – процесс улавливания взвешенных в газе частиц жидкостью. Применяется для очистки газов и разделения суспензий.

### 1.3. Псевдооживление

**Псевдооживленным** называют такое состояние двухфазной системы, твердые частицы (газ или жидкость), которой характеризуется перемещением твердых частиц относительно друг друга за счет подвода энергии от какого-либо источника. Псевдооживленная система, возникшая под воздействием сжижающего агента, получила

название *псевдооживленного* или *кипящего слоя*, так как этому слою присущи многие свойства капельной жидкости.

Псевдооживленный слой образуется при восходящем движении сжижающего агента через слой зернистого материала со скоростью, позволяющей поддерживать слой материала во взвешенном состоянии.

За последние десятилетия процессы в псевдооживленном слое получили широкое распространение во многих отраслях промышленности. В псевдооживленном слое проводятся процессы смешивания, транспортировки, классификации сыпучих материалов, теплообмена, сушки, например, зерна, адсорбции и др. Это объясняется следующими его преимуществами:

- происходит интенсивное перемешивание твердой фазы, которое приводит к выравниванию температур и концентраций в рабочем объеме аппарата, что исключает локальный перегрев твердых частиц, препятствующий оптимальному проведению процесса и влияющий на качество продукции;
- текучесть псевдооживленного слоя позволяет создавать аппараты непрерывного действия с непрерывным вводом и отводом отработанной твердой фазы;
- происходит резкое увеличение площади поверхности тепло- и массопередачи и снижение диффузионных сопротивлений в псевдооживленном слое в результате использования частиц малого диаметра с большой удельной поверхностью, что позволяет увеличить производительность аппаратов при проведении ряда сорбционных тепловых и других процессов;
- коэффициенты теплоотдачи и эффективная теплопроводность от псевдооживленного слоя к поверхностям нагрева достаточно высоки, что позволяет значительно интенсифицировать теплообменные процессы и, как следствие, уменьшить рабочие объемы теплообменных аппаратов;
- в аппаратах с псевдооживленным слоем гидравлическое сопротивление не велико и не зависит от скорости сжижающего агента в пределах существования псевдооживленного слоя;
- диапазон свойств твердых частиц и сжижающих агентов (газы, пары, капельные жидкости) достаточно широк и включает, в том числе, пастообразные материалы и суспензии;
- аппараты для проведения процесса довольно просты, легко модернизируются и автоматизируются.

Наряду с большими преимуществами метода проведения процессов в псевдооживленном слое присущи и недостатки:

- вследствие интенсивного перемешивания твердой фазы в пределах одной секции движущая сила по сравнению с максимально возможной снижается;
- время пребывания частиц и сжижающего агента в пределах одной секции неравномерно;
- частицы в псевдооживленном слое интенсивно истираются;
- пыль, образующаяся при истирании частиц, уносится, и рабочая скорость сжижающего агента ограничивается скоростью уноса твердых частиц из слоя. Это вызывает необходимость в пылеулавливающих устройствах;
- при псевдооживлении частиц диэлектрических материалов возможно возникновение зарядов статического электричества, что приводит к взрывоопасности установки.

Перечисленные недостатки метода псевдооживления не являются определяющими и могут быть частично или полностью устранены.

## 1.4. Перемешивание

**Перемешивание** в жидкой среде применяют при получении суспензий и эмульсий. При смешивании пластичных и сыпучих материалов ставится задача получения однородной массы основного вещества с различными твердыми, жидкими и пластичными добавками.

При перемешивании интенсифицируются тепловые, диффузионные и биохимические процессы.

Для перемешивания используют *смесители* различных конструкций. Качество перемешивания характеризуется степенью (равномерностью) смешивания фаз.

Для того чтобы перемешивать жидкие среды используют несколько способов: *пневматический*, *циркуляционный*, *статический* и *механический* с помощью мешалок.

**Пневматическое перемешивание** осуществляют с помощью сжатого газа (в большинстве случаев воздуха), пропускаемого через слой перемешиваемой жидкости. Для равномерного распределения газа в слое жидкости газ подается в смеситель через барботер. Барботер представляет собой ряд перфорированных труб, расположенных у днища смесителя по окружности или спирали.

В ряде случаев перемешивание осуществляется с помощью эжекторов. Интенсивность перемешивания определяется количеством газа, пропускаемого в единицу времени через единицу свободной поверхности жидкости в смесителе.

Пневматическое перемешивание имеет ограниченное применение. Оно используется тогда, когда допускается взаимодействие перемешиваемой жидкости с газом.

**Циркуляционное перемешивание** осуществляют с помощью насоса, перекачивающего жидкость по замкнутой системе: смеситель — насос — смеситель.

Интенсивность циркуляционного перемешивания зависит от кратности циркуляции, т. е. отношения подачи циркуляционного насоса в единицу времени к объему жидкости в аппарате. В ряде случаев вместо насосов могут применяться паровые эжекторы.

**Статическое смешивание** жидкостей невысокой вязкости, а также газа с жидкостью осуществляется в статических смесителях за счет кинетической энергии жидкостей или газов.

Статические смесители устанавливают в трубопроводах перед реактором или другой аппаратурой или непосредственно в реакционном аппарате. Простейшими статическими смесителями являются устройства с винтовыми вставками различной конструкции.

**Механическое перемешивание** используют для интенсификации гидромеханических процессов (диспергирования), тепло- и массообменных, биохимических процессов в системах: жидкость — жидкость, газ — жидкость и газ — жидкость — твердое тело. Осуществляют его с помощью различных перемешивающих устройств — *мешалок*. Мешалка представляет собой комбинацию лопастей, насаженных на вращающийся вал.

Все перемешивающие устройства, применяемые в перерабатывающих и пищевых производствах, можно разделить на две группы: в первую группу входят *лопастные, турбинные и пропеллерные*, во вторую — *специальные: винтовые, шнековые, ленточные, рамные, ножевые* и другие, служащие для перемешивания пластичных и сыпучих масс.

По частоте вращения рабочего органа перемешивающие устройства делятся на *тихо- и быстроходные*.

***Вопросы для самоконтроля:***

1. Назовите признаки, которые лежат в основе классификации неоднородных систем. Какие вы знаете неоднородные системы?
2. Перечислите методы разделения неоднородных систем.
3. Какие неоднородные системы разделяют методом отстаивания и фильтрования?
4. Какое оборудование применяется для разделения неоднородных смесей?
5. Что является движущей силой фильтрования?
6. Какими преимуществами и недостатками обладает псевдооживленный слой?
7. С какой целью применяется перемешивание в пищевой технологии?
8. Какие конструкции мешалок применяют в пищевой технологии, и от чего зависит выбор мешалки?

## 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

К механическим процессам относятся измельчение, классификация и прессование материалов, приводящие лишь к изменению формы материала без изменения физико-химических характеристик.

### 2.1. Измельчение и классификация твердых материалов

**Измельчение** — это процесс увеличения поверхности твердых материалов путем их раздавливания, раскалывания, истирания и удара.

В пищевой промышленности измельчение применяют для увеличения поверхности твердых материалов с целью повышения скорости биохимических и диффузионных процессов при переработке фруктов, овощей и т. д., а также в процессах переработки пищевых отходов. Измельчение широко используют в мукомольном, мясном, свеклосахарном, спиртовом, пивоваренном, консервном и других производствах.

Метод измельчения выбирают в зависимости от крупности и физико-механических свойств измельчаемых материалов. На практике часто применяют комбинированные методы измельчения.

Процессы измельчения разделяются на *дробление* (крупное, среднее и мелкое), *измельчение* (тонкое и очень тонкое) и *резание*.

Резание применяют, когда требуется не только уменьшить размер кусков, но и придать им определенную форму.

Резанию подвергаются овощи и фрукты, конфетная и тестовая масса, мясо и другие продукты.

На измельчающих машинах можно проводить различные процессы измельчения, начиная от измельчения глыб и кончая коллоидным измельчением, позволяющим получать продукт с частицами размером до 0,1 мкм.

**Классификация** — это процесс разделения однородного сыпучего материала по величине его частиц. По технологическим требованиям часто требуется направлять на переработку куски (частицы) материалов, размеры которых должны находиться в строго определенных пределах.

Процесс измельчения характеризуется степенью измельчения, т. е. отношением среднего размера куска материала до измельчения  $d_H$  к среднему размеру куска после измельчения  $d_K$ :

$$i = \frac{d_H}{d_K}.$$

Обычно куски измельчаемого материала и куски или частицы, получаемые в результате измельчения, не имеют правильной формы. На практике размеры кусков ( $d_H$  и  $d_K$ ) характеризуются размером отверстий сит, через которые просеивают сыпучий материал до и после измельчения.

С целью получения высоких степеней измельчения процесс измельчения проводят в несколько стадий на последовательно установленных машинах.

В зависимости от начальных и конечных размеров наибольших кусков и частиц материала измельчение подразделяется на следующие виды:

Вид измельчения	$d_H$ , мм	$d_K$ , мм
Крупное	1500...2000	250...25
Среднее	200...25	25...5
Мелкое	25...5	5...1
Тонкое	5...1	1...0,075
Коллоидное	0,2...0,1	до $1 \cdot 10^{-4}$

Крупное и среднее измельчение проводят *сухим* способом, а мелкое и тонкое — *мокрым* способом обычно в воде. При мокром измельчении частицы продукта имеют более равномерную величину. При этом резко снижается образование пыли и упрощается выгрузка готового продукта.

## 2.2. Измельчающие машины

Все измельчающие машины делятся на *дробилки* и *мельницы*. Дробилки применяют для крупного и среднего дробления, мельницы — для среднего, мелкого, тонкого и коллоидного измельчения.



Основные измельчающие машины подразделяются на следующие типы: *щечковые, гирационные, молотковые* и дробилки ударного действия; *протирочные* машины; *валковые* мельницы и бегуны, *шаровые* и *стержневые* мельницы, *кольцевые, вибрационные, коллоидные* мельницы.

Резательные машины бывают *пластинчатыми, дисковыми, роторными, струнными* и др.

Ко всем измельчающим машинам предъявляют общие требования: равномерность кусков измельченного материала; удаление измельченных кусков из рабочего пространства; сведение к минимуму пылеобразования; непрерывная и автоматическая разгрузка; возможность регулирования степени измельчения; возможность легкой смены быстро изнашивающихся частей; небольшой расход энергии на единицу продукции.

Наиболее часто в технологических процессах первичной переработки сельхозпродукции применяются молотковые, валковые, конусные и щечковые дробилки.

### **2.3. Прессование. Обезвоживание и брикетирование**

Для *обезвоживания и брикетирования* твердых материалов, *гранулирования и формования* пластичных материалов в перерабатывающей промышленности применяют прессование.

**Прессование** заключается в том, что обрабатываемый материал подвергают внешнему давлению в специальных прессах.

Под избыточным давлением проводят обезвоживание, брикетирование, формование и штампование различных материалов.

Обезвоживание под давлением применяют в ряде отраслей пищевой промышленности: в сахарном производстве для отжима воды из свекловичного жома, сока из сахарного тростника, в жировом производстве для выделения из семян подсолнечника растительного масла, в производстве соков для выделения сока из ягод и плодов и в других производствах.

Брикетирование используют для получения брикетов, т. е. брусков спрессованного материала прямоугольной или цилиндрической формы. Брикетирование применяют в сахарном производстве для получения брикетов свекловичного жома и сахара-рафинада. Брикетирование широко распространено в производстве пищевых концентратов и лекарственных препаратов, в кондитерском и ком-

бикормовом производствах, в процессах утилизации отходов производства и др.

Разновидности брикетирования – *таблетирование* и *гранулирование*. Таблетки и гранулы имеют меньшие размеры по сравнению с брикетами. Промышленностью выпускаются гранулированные чай, кофе, пищевые концентраты, конфеты и другие продукты.

Формование пластических материалов применяют в хлебопекарном, кондитерском, макаронном, комбикормовом и других производствах для придания изделию заданной формы. При формовании часто используют *экструзию*.

Обезвоживание продуктов применяют для выделения жидкости, когда она является ценным продуктом или когда с обезвоживанием ценность продукта увеличивается.

Обезвоживание проводят под действием избыточного давления, которое прикладывается к материалу. Избыточное давление может быть приложено к материалу двумя способами: давлением поршня в прессах или действием центробежной силы в центрифугах.

Брикетирование, таблетирование и гранулирование применяют с целью повышения качества и продолжительности использования продукта, уменьшения потерь, улучшения транспортировки и т. д.

## **2.4. Гранулирование и формование**

Гранулирование и формование проводят в экструдерах с целью получения полуфабрикатов или готовых изделий при комплексном воздействии давления, температуры, влажности и напряжения сдвига. Преимущества экструзии состоят в совмещении в одном экструдере нескольких процессов: диспергирования, перемешивания, гомогенизации, термической обработки (охлаждения), формования и сушки пищевых материалов. Экструдер заменяет ряд периодических процессов и оборудования, а сам процесс экструзии позволяет направленно изменять свойства и структуру перерабатываемого материала, обеспечивает непрерывность процесса, возможность непрерывной подачи в перерабатываемый материал ароматизаторов, красителей, пластификаторов и вкусовых добавок. Экструзию применяют при выработке изделий из теста, таких как макароны, сухие завтраки, кондитерские изделия, детское питание, гранулированные корма. Готовый продукт, выработанный таким образом, или полуфабрикат называют *экструдатом*.

*том.* Форма экструдата определяется формой отверстий в матрице, которую устанавливают на выходе материала из экструдера.

Экструзия бывает *холодной, тепловой и варочной*. При холодной экструзии происходит только механическое формование пластического сырья в результате продавливания его через матрицу. Этот вид экструзии применяют при выработке мучных изделий, макарон, плавленых сыров, конфетных масс, мясного фарша и других продуктов. Тепловую экструзию используют для частичной клейстеризации крахмалсодержащих материалов влажностью 20–40% с последующей обжаркой или выпечкой. При варочной экструзии во время нагревания в перерабатываемом материале происходят необратимые биофизические изменения, прежде всего белков, крахмала и сахара. Экструдат затем сушат или обжаривают и покрывают вкусовыми добавками. Способом варочной экструзии получают сухие завтраки, хлебцы, сухие напитки, супы, мясопродукты.

***Вопросы для самоконтроля:***

1. На какие виды подразделяется измельчение в зависимости от начальных и конечных размеров наибольших кусков материала?
2. С какой целью применяют измельчение и классификацию твердых материалов?
3. Что характеризует процесс измельчения?
4. Какие типы измельчающих машин применяются в промышленности?
5. Для чего применяют прессование в пищевой промышленности?
6. Какое оборудование используют при обработке продуктов прессованием?
7. Чем различаются обезвоживание и брикетирование продуктов?

## 3. ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

К теплообменным относятся такие технологические процессы, скорость которых определяется скоростью подвода или отвода теплоты: нагревание, испарение (в том числе выпаривание), охлаждение, конденсация. Аппараты, в которых проводят эти процессы, называют теплообменными.

### 3.1. Теплопередача

**Теплообмен** – самопроизвольный необратимый процесс переноса теплоты от более нагретых тел (или участков тел) к менее нагретым.

**Теплота** (количество теплоты) – энергетическая характеристика процесса теплообмена, которая определяется количеством энергии, отдаваемой или получаемой телом в процессе теплообмена.

**Теплопередача** – теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твердую стенку.

**Теплоноситель** – движущаяся среда (газ, пар, жидкость), используемая для переноса теплоты.

В процессах теплопередачи участвует не менее двух сред (веществ) с различными температурами. Среда с более высокой температурой, отдающая при теплообмене теплоту, называется *горячим теплоносителем*, среда с более низкой температурой, воспринимающая теплоту, называется *холодным теплоносителем (хладагентом)*. Теплоносители и хладагенты должны быть химически стойкими, не вызывать коррозии аппаратуры, не образовывать отложений на стенках аппаратов.

В качестве теплоносителей в пищевой промышленности наибольшее распространение получили насыщенный водяной пар, вода, дымовые газы, а в качестве хладагентов – аммиак, фреоны, рассол хлорида кальция, воздух, азот. Выбор теплоносителя или хладагента определяется их назначением, температурами процесса, стоимостью.

Теплопередача между средами может происходить в *установившихся* (стационарных) и *неустановившихся* (нестационарных) условиях.

При установившемся (стационарном) процессе поле температур в аппарате не изменяется во времени. При неустановившемся (нестационарном) процессе температуры изменяются во времени.

Установившиеся процессы имеют место в непрерывно действующих аппаратах; неустановившиеся процессы протекают в аппаратах периодического действия, а также при пуске и остановке аппаратов непрерывного действия и изменении режима их работы.

При тепловой обработке многих пищевых продуктов, например, теста, молока, сахарных растворов, изменяются их физико-химические свойства, что вызывает, в свою очередь, изменение условий теплопередачи.

Основными кинетическими характеристиками процесса теплопередачи являются средняя разность температур, коэффициент теплопередачи, количество передаваемой теплоты (от этой величины зависят размеры теплообменной аппаратуры).

### **3.2. Устройство теплообменных аппаратов**

Теплоиспользующие аппараты, применяемые в пищевых производствах для проведения теплообменных процессов, называют *теплообменниками*. Теплообменники характеризуются разнообразием конструкций, которое объясняется различным назначением аппаратов и условиями проведения процессов.

По принципу действия теплообменники делятся на *рекуперативные, регенеративные и смесительные* (градирни, скрубберы, конденсаторы смешения и т. д.).

**В рекуперативных теплообменниках** теплоносители разделены стенкой, через которую передается тепло от одного теплоносителя к другому.

**В регенеративных теплообменниках** одна и та же теплообменная поверхность омывается попеременно горячим и холодным теплоносителями. При омывании горячим теплоносителем поверхность нагревается за счет его теплоты, при омывании поверхности холодным теплоносителем она охлаждается, отдавая теплоту. Таким образом, теплообменная поверхность аккумулирует теплоту горячего теплоносителя, а затем отдает ее холодному теплоносителю.

**В смесительных аппаратах** передача теплоты происходит при непосредственном взаимодействии теплоносителей.

**Рекуперативные теплообменники** в зависимости от конструкции разделяются на *кожухотрубчатые*, типа «труба в трубе», *змеевиковые, пластинчатые, спиральные, оросительные* и *аппараты с рубашками*. Особую группу составляют трубные выпарные аппараты.

**Регенеративные теплообменники** состоят из двух секций, в одной из которых теплота передается от теплоносителя промежуточному материалу, в другой – от промежуточного материала технологическому газу. Примером регенеративной теплообменной установки является установка непрерывного действия с циркулирующим зернистым материалом, который выполняет функцию переносчика теплоты от горячих топочных газов к холодным технологическим.

**Смесительные теплообменники** бывают *мокрого* и *сухого* типов. Теплота в них передается от одного теплоносителя к другому при их смешении.

Мокрый прямоточный конденсатор предназначен для конденсации пара водой. В противоточном сухом конденсаторе смешения взаимодействие пара и охлаждающей воды происходит в противотоке.

### 3.3. Выпаривание

**Выпаривание** – процесс концентрирования растворов твердых нелетучих или малолетучих веществ путем испарения летучего растворителя и отвода образовавшихся паров.

В промышленности выпаривание обычно проводят при кипении раствора. При выпаривании растворов твердых веществ в ряде пищевых производств достигают насыщения раствора; при дальнейшем удалении растворителя из такого раствора происходит кристаллизация, в результате которой выделяется растворенное вещество.

Выпаривание применяют для повышения концентрации разбавленных растворов или выделения из них растворенного вещества путем кристаллизации.

Процесс выпаривания широко используют в сахарном и консервном производствах при концентрировании сахарных и томатных соков, молока и др. В пищевой технологии выпаривают, как правило, водные растворы.

Выпаривание проводят в *выпарных аппаратах*. Процесс выпаривания может проводиться *непрерывно* и *периодически*. Аппараты периодического действия используют в основном в производствах малого масштаба.

В крупнотоннажных производствах применяют непрерывно действующие выпарные установки, площадь поверхности нагрева которых достигает 6000...10000 м<sup>2</sup>. При таких поверхностях нагрева

решающим фактором, который определяет экономичность установки, является расход греющего пара и воды.

Выпаривание осуществляют как *под вакуумом, так и при атмосферном и избыточном давлении.*

**При выпаривании под вакуумом** в аппарате создается вакуум путем конденсации вторичного (сокового) пара в специальном конденсаторе и отсасывания из него неконденсирующихся газов с помощью вакуум-насоса. Выпаривание под вакуумом позволяет снизить температуру кипения раствора, что особенно важно при выпаривании пищевых растворов, которые особенно чувствительны к высоким температурам. Применение вакуума позволяет увеличить движущую силу теплопередачи и, как следствие, уменьшить площадь поверхности выпарных аппаратов, а следовательно, их материалоемкость.

**При выпаривании под атмосферным давлением** образующийся вторичный пар сбрасывается в атмосферу. При выпаривании под повышенным давлением вторичный пар может быть использован как нагревающий агент в подогревателях, для отопления теплиц и т. п. Выпаривание под давлением связано с повышением температуры кипения раствора, поэтому применение данного способа в пищевой технологии ограничено свойствами растворов и температурой теплоносителя.

В пищевых производствах применяют *однократное выпаривание*, которое проводят непрерывным способом или периодически, *многократное выпаривание*, проводимое непрерывно, и *выпаривание с использованием теплового насоса.*

Все указанные процессы проводят как под давлением, так и под вакуумом в зависимости от параметров теплоносителя и свойств выпариваемых растворов.

В качестве теплоносителя обычно используют насыщенный водяной пар. В редких случаях используют электрический обогрев, а также нагревание промежуточными теплоносителями (перегретой водой, дифенильной смесью, маслом).

**Однократное выпаривание** применяют в малотоннажных производствах. Его можно проводить непрерывно или периодически. Образующийся при выпаривании вторичный пар в этих установках не используется, а конденсируется в конденсаторе.

**Многократное выпаривание** проводят в ряде последовательно установленных выпарных аппаратов. Такие установки называют *многокорпусными*. С целью экономии греющего пара в выпарных

установках многократного выпаривания в качестве греющего пара во всех корпусах, кроме первого, используется пар из предыдущего корпуса.

Удельный расход греющего насыщенного водяного пара составляет: для однокорпусной установки 1,1...1,2 кг пара на 1 кг выпаренной воды; для двухкорпусной установки – около 0,55; для трехкорпусной – около 0,4; для четырехкорпусной установки – около 0,3 кг пара на 1 кг выпаренной воды.

Многократное выпаривание можно осуществить при использовании греющего пара высокого давления либо при применении вакуума в выпарной установке. Давление в корпусах установки должно поддерживаться таким образом, чтобы температура поступающего в корпус пара была выше, чем температура кипения раствора в этом корпусе. Оптимальное давление греющего пара в последнем корпусе определяется технико-экономическим расчетом.

**Выпаривание с применением теплового насоса** основано на использовании вторичного пара в качестве греющего в том же выпарном аппарате. Для этого температура вторичного пара должна быть повышена до температуры греющего пара. Повышение температуры вторичного пара достигается сжатием его в компрессоре или паровом инжекторе. В качестве компрессора обычно используется турбокомпрессор.

### **3.4. Устройство выпарных аппаратов**

Наибольшее распространение в пищевых производствах получили трубные выпарные аппараты *с естественной и принудительной циркуляцией* при площади поверхности нагрева 10...1800 м<sup>2</sup>. В зависимости от расположения греющей камеры аппараты бывают с соосной или с вынесенной греющими камерами.

Кроме перечисленных аппаратов, применяют различные конструкции пленочных выпарных аппаратов.

При выборе конструкции выпарного аппарата учитывают теплофизические свойства раствора, склонность к кристаллизации, чувствительность к высоким температурам, полезную разность температур в каждом корпусе, площадь поверхности теплообменного аппарата, технологические особенности.

Выпарные аппараты изготовляют из углеродистой, коррозионно-стойкой и двухслойной стали.



**Выпарные аппараты с естественной циркуляцией** просты по конструкции и применяются для выпаривания растворов невысокой вязкости, не склонных к кристаллизации. Эти аппараты бывают с соосной и вынесенной греющими камерами.

**Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией** раствора позволяют повысить интенсивность циркуляции раствора и коэффициент теплопередачи.

**Пленочные выпарные аппараты** применяют при концентрировании растворов, чувствительных к высоким температурам. При необходимом времени пребывания в зоне высоких температур раствор не успевает перегреться и его качество не снижается. Выпаривание в пленочных аппаратах происходит за один проход раствора через трубы.

Пленочные аппараты бывают с восходящей пленкой и соосной или вынесенной греющей камерой и падающей пленкой и соосной или вынесенной греющей камерой.

**Роторно-пленочные выпарные аппараты** применяют при концентрировании пищевых растворов, а также суспензий.

#### ***Вопросы для самоконтроля:***

1. Какие технологические процессы относятся к теплообменным?
2. Какой процесс называется теплопередачей?
3. Какие методы нагрева применяют в пищевых производствах?
4. Чем различаются мокрые и сухие конденсаторы?
5. На какие типы делятся рекуперативные теплообменники в зависимости от конструкции?
6. Приведите примеры регенеративных теплообменников.
7. Какие теплообменники по принципу действия относятся к смешительным?
8. В чем заключается процесс выпаривания? Какие растворы концентрируют выпариванием?
9. Какие конструкции выпарных установок применяются в пищевой промышленности?
10. Какими методами в промышленности осуществляется процесс выпаривания?

## 4. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Массообменными процессами называют такие технологические процессы, скорость протекания которых определяется скоростью переноса вещества (массы) из одной фазы в другую конвективной и молекулярной диффузией: абсорбция, перегонка и ректификация, экстракция, сушка, адсорбция, кристаллизация и др. Аппараты, в которых протекают эти процессы, называют массообменными аппаратами.

### 4.1. Абсорбция

**Абсорбцией** называют процесс поглощения газов или паров (абсорбтивов) из газовых или паровых смесей жидкими поглотителями – абсорбентами. Этот процесс является избирательным и обратимым, что позволяет применить его с целью получения растворов газов в жидкостях, а также для разделения газовых или паровых смесей.

После абсорбции одного или нескольких компонентов из газовой или паровой смеси, как правило, проводят *десорбцию*, т. е. выделение этих компонентов из жидкости. Таким образом, осуществляют разделение газовой смеси.

Имеют место *физическая абсорбция и хемосорбция*. При *физической абсорбции* при растворении газа не происходит химической реакции. При хемосорбции абсорбируемый газ вступает в химическую реакцию в жидкой фазе.

Процессы абсорбции в технике применяют для разделения углеродородных газов и получения соляной и сернистой кислот, аммиачной воды, очистки отводящих газов с целью улавливания ценных продуктов или обезвреживания газосбросов.

Аппаратурно-технологическое оформление абсорбции несложно, поэтому процессы абсорбции широко используют в технике.

Аппараты для проведения процессов абсорбции называются *абсорберами*.

Абсорбция протекает на поверхности раздела фаз. Поэтому абсорберы должны иметь развитую поверхность контакта фаз между газом и жидкостью. По способу образования этой поверхности абсорберы можно разделить на следующие четыре основные группы: *поверхностные и пленочные; насадочные*, в которых поверхностью

контакта фаз является поверхность растекающейся по специальной насадке жидкости; *барботажные абсорберы*, в которых поверхность контакта фаз создается потоками газа (пара) и жидкости; *распыливающие абсорберы*, в которых поверхность контакта фаз создается вследствие разбрызгивания жидкости.

## 4.2. Перегонка и ректификация

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

Процессы перегонки и ректификации широко применяют в пищевой промышленности при получении технического и пищевого этилового спирта, в производстве ароматических веществ и др. Перегонку используют для грубого разделения смесей. Для наиболее полного их разделения применяют ректификацию.

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*, обогащенный легколетучим компонентом, и *кубовый остаток*, обогащенный труднолетучим компонентом. Дистиллят получают в результате конденсации паров в конденсаторе-дефлегматоре. Кубовый остаток получают в кубе установки.

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

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

**Фракционная перегонка** заключается в постепенном испарении жидкости, находящейся в перегонном кубе. Образовавшиеся пары отводятся в холодильник и там конденсируются, а дистиллят собирается в сборнике. Кубовой остаток удаляется из куба после окончания процесса. Обогрев куба осуществляется насыщенным водяным паром или дымовыми газами.

**Простая перегонка с дефлегмацией** проводится для увеличения степени разделения исходной смеси. В этом случае пары уходящие из перегонного куба, поступают в дефлегматор, где частично конденсируются. При частичной конденсации образуется флегма, обогащенная труднолетучим компонентом, которая сливается обратно в куб и взаимодействует с входящими из куба парами.

**Перегонку с водяным паром** проводят с целью понижения температуры кипения исходной смеси веществ, кипящих при температурах свыше 100 °С, компоненты которой нерастворимы в воде. При такой перегонке отгоняемый компонент получается обычно в виде смеси с водой при температуре кипения или атмосферном давлении – меньшем, чем температура кипения воды.

**Молекулярная перегонка** используется для разделения компонентов, кипящих при высоких температурах и не обладающих необходимой термической стойкостью. Процесс проводится под глубоким вакуумом, соответствующим остаточному давлению 1,31...0,131 Па.

Молекулярная перегонка протекает путем испарения жидкости с ее поверхности. Процесс осуществляется на близрасположенных поверхностях испарения и конденсации, причем расстояние между ними (обычно 20...30 мм) должно быть меньше длины свободного пробега молекул. В этом случае отрывающиеся от поверхности испарения молекулы летучего компонента попадают на поверхность конденсации и конденсируются на ней. Разность температур между поверхностями испарения и конденсации порядка 100 °С.

**Ректификация** представляет собой разделение смеси на составляющие ее компоненты в результате многократного частичного испарения жидкости и конденсации паров. Проводят ректификацию в *колонных аппаратах*, снабженных контактными устройствами (тарелками различной конструкции) либо заполненных насадкой, изготовленной из различных материалов (керамика, металл, дерево). Процесс взаимодействия пара с жидкостью происходит в противотоке, и в каждом контактном устройстве пары конденсируются, а жидкость частично испаряется за счет теплоты конденсации пара. Таким образом, пар обогащается легколетучим компонентом, а жидкость, стекающая в низ колонны, – труднолетучим компонентом. В результате многократного взаимодействия пара и жидкости дистиллят содержит почти чистый легколетучий компонент, а кубовый остаток – труднолетучий.

Применяются в пищевой промышленности *ректификационные установки непрерывного и периодического действия, установки для разделения многокомпонентной смеси*. Любая ректификационная установка состоит из колонной части, в которой расположены тарелки или насадка, и кипятильника (куба), представляющего собой кожухотрубчатый или змеевиковый теплообменник. Кипятильник может быть встроенным в нижнюю колонную часть либо вынесенным за пределы колонны.

В пищевой промышленности используют главным образом тарельчатые и насадочные ректификационные колонны, конструкции.

**Экстракцией в системе «жидкость – жидкость»** называют процесс извлечения растворенного вещества или веществ из жидкости с помощью специальной другой жидкости, не растворяющейся или почти не растворяющейся в первой, но растворяющей экстрагируемые компоненты.

Принципиальная схема экстракции приведена на рисунке.

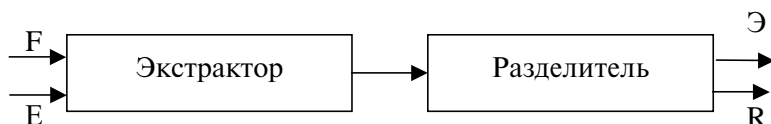


Рисунок – Принципиальная схема процесса экстракции

В экстрактор загружаются исходный раствор  $F$ , содержащий распределяемое (экстрагируемое) вещество или вещества  $M$ , и растворитель  $L$ . Жидкость, используемая для извлечения компонентов, называется экстрагентом ( $E$ ). Массообмен между фазами протекает при их непосредственном контакте. Полученная в результате экстракции жидкая смесь поступает в разделитель, где разделяется на экстракт ( $\Theta$ ) – раствор экстрагированных веществ в экстрагенте и рафинат ( $R$ ) – остаточный раствор, из которого экстрагированы извлекаемые компоненты. Разделение смеси на экстракт и рафинат происходит в результате отстаивания или сепарирования.

Процесс экстракции проводится в аппаратах различной конструкции – *экстракторах*.

Экстракцию широко используют для извлечения ценных продуктов из разбавленных растворов, а также для получения концентрированных растворов.

Основное преимущество экстракции — низкая рабочая температура процесса, что позволяет разделять жидкие смеси термолabileльных веществ, например антибиотиков, разлагающихся при повышенных температурах.

Во многих случаях экстракцию применяют в сочетании с ректификацией. Поскольку расход теплоты на ректификацию уменьшается с увеличением концентрации исходного раствора, предварительное концентрирование раствора экстракцией позволяет сократить расход теплоты на разделение исходной смеси.

В промышленности используют периодическую или непрерывную экстракцию по следующим схемам: *одноступенчатой, многоступенчатой противоточной и многоступенчатой с перекрестным током экстрагента.*

**Одноступенчатая экстракция** применяется в тех случаях, когда высок коэффициент разделения. Она может осуществляться периодическим и непрерывным способами.

**Многоступенчатая экстракция** проводится в многосекционных экстракторах или экстракционных установках, в которых каждый агрегат представляет самостоятельную установку. Многоступенчатая экстракция может проводиться с противотоком экстрагента, при перекрестном токе исходного раствора и экстрагента или комбинированным способом при наличии нескольких экстрагентов.

*Противоточная экстракция* может осуществляться по различным схемам. Например, в распылительных, насадочных и тарельчатых экстракторах состав обеих фаз меняется непрерывно по длине аппарата. В других экстракторах или установках состав обеих или одной фазы меняется скачкообразно при переходе от секции к секции.

*Экстракция с перекрестным потоком экстрагента* может осуществляться в нескольких секциях непрерывно либо в одной секции периодически.

Эффективность массопередачи в процессах экстракции пропорциональна площади массообменной поверхности и средней движущей силе процесса. С целью увеличения площади массообменной поверхности в экстракторах одна из жидких фаз диспергируется и распределяется в другой в виде капель. Процесс массопередачи протекает между дисперсионной и сплошной фазами. Для проведения процесса с наибольшей движущей силой в экстракторах организуют взаимодействие потоков в условиях, приближающихся к идеальному вытеснению. Это достигается проведением процесса в тонком слое в насадочных, центробежных экстракторах, путем

секционирования экстракторов либо использования многоступенчатых секционных экстракционных установок.

Экстракторы по принципу организации процесса бывают непрерывного и периодического действия.

В зависимости от способа контакта фаз экстракторы можно разделить на три группы: *ступенчатые, или секционные, дифференциально-контактные и смесительно-отстойные.*

**Ступенчатые (секционные) экстракторы** состоят из отдельных секций, в которых изменение концентрации в фазах происходит скачкообразно. В ряде случаев каждая секция приближается по полю концентраций к аппарату идеального смешения. Экстрактор, состоящий из нескольких таких секций, по полю концентраций приближается к аппарату идеального вытеснения.

**Дифференциально-контактные** экстракторы обеспечивают непрерывный контакт между фазами и плавное непрерывное изменение концентраций в фазах. За счет продольного перемешивания фаз в таких аппаратах может иметь место значительное снижение средней движущей силы по сравнению с аппаратами идеального вытеснения.

**Смесительно-отстойные** экстракторы состоят из нескольких ступеней, каждая из которых включает смеситель и разделитель. В смесителе за счет подвода внешней энергии происходит диспергирование одной из жидких фаз с образованием дисперсионной фазы, которая распределяется в другой – сплошной фазе. Дисперсионной фазой может быть как легкая, так и тяжелая фаза.

### **4.3. Экстракция в системе твердое тело – жидкость**

**Выщелачивание** (частный случай экстракции) – это извлечение из твердого тела одного или нескольких веществ с помощью растворителя, обладающего избирательной способностью. В пищевой промышленности выщелачиванием обрабатывают капиллярно-пористые тела растительного или животного происхождения.

В качестве растворителей применяют: воду – для экстрагирования сахара из свеклы, кофе, цикория, чая; спирт и водно-спиртовую смесь – для получения настоев в ликеро-водочном и пиво-безалкогольном производствах; бензин, трихлорэтилен, дихлорэтан – в маслоэкстракционном и эфиромасличном производствах и др. Выщелачивание – основной процесс в свеклосахарном производстве, применяют его для извлечения сахара из

сахарной свеклы. С помощью бензина извлекается растительное масло из семян подсолнечника.

За выщелачиванием в технологической схеме часто следуют процессы фильтрования, выпаривания и кристаллизации.

В пищевой промышленности растворение и выщелачивание проводят периодическим и непрерывным способами соответственно в *перколяторах и диффузионных аппаратах различной конструкции в прямотоке и противотоке*.

**Диффузионные аппараты непрерывного действия** получили широкое распространение в сахарной промышленности для извлечения сахара из свекловичной стружки. *Наклонный двухшнековый диффузионный аппарат* установлен под углом  $8...11^\circ$  к горизонту. В верхней части аппарата расположены бункер для загрузки свекловичной стружки и шнеки для удаления жома из аппарата.

**Цилиндрический одноколонный диффузионный аппарат** – цилиндрический корпус, внутри которого вращается шнек. Шнек подвешен к верхней опоре. На внутренней поверхности корпуса установлены контролапасты, которые расположены в других плоскостях, чтобы не мешать вращению шнека. Лопасты шнека и контролапасты разрыхляют стружку и перемещают ее снизу вверх.

**Ленточные экстракторы** применяют для экстракции масла из семян подсолнечника.

## 4.4. Адсорбция

**Адсорбцией** называют процесс поглощения газов или паров из газовых смесей или растворенных веществ из растворов твердыми поглотителями – *адсорбентами*. Поглощаемое вещество называется *адсорбтивом*.

Характерная особенность процесса адсорбции – *избирательность* и *обратимость*. Благодаря обратимости процесса возможно поглощение из парогазовых смесей или растворов одного или нескольких компонентов, а затем в определенных условиях выделение их из адсорбента.

Процесс, обратный адсорбции, называют *десорбцией*. Адсорбция широко распространена в различных отраслях промышленности для очистки и осушки газов, очистки и осветления растворов, разделения парогазовых смесей, для извлечения ценных летучих растворителей из их смеси с другими газами.

В пищевой технологии адсорбцию используют для очистки диффузионного сока и сахарных сиропов в сахарном производстве,



осветления пива и фруктовых соков, очистки от органических и других соединений спирта, водки, коньяка и вин, сиропов в крахмалопаточном производстве и др.

Различают *физическую* и *химическую адсорбцию*. Физическая адсорбция имеет место при взаимном притяжении молекул адсорбтива и адсорбента под действием сил Ван-дер-Ваальса. При физической адсорбции не возникает химического взаимодействия адсорбированного газа с адсорбентом.

При поглощении паров адсорбция может сопровождаться конденсацией паров, при этом поры адсорбента заполняются жидкостью – происходит капиллярная конденсация, которая возникает вследствие снижения давления пара над вогнутым мениском жидкости в капиллярах адсорбента.

*Химическая адсорбция*, или хемосорбция, характеризуется образованием химической связи между молекулами поглощенного вещества и молекулами адсорбента, что является результатом химической реакции.

В пищевых производствах широко используют следующие адсорбенты: активные угли, силикагели (гель кремниевой кислоты), алюмогели (гидроокись алюминия), цеолиты, глины и другие природные адсорбенты. Адсорбенты, которые непосредственно контактируют с продуктами, должны быть биологически безвредными, т. е. они должны быть нетоксичными и прочными, не засорять продукт.

Адсорбенты характеризуются большой удельной поверхностью, отнесенной к единице массы вещества. Они имеют различные по диаметру поры, которые можно разделить на *макропоры* (более  $2 \cdot 10^{-4}$  мм), переходные поры ( $6 \cdot 10^{-6} \dots 2 \cdot 10^{-4}$ ) и *микропоры* размером от  $2 \cdot 10^{-6}$  до  $6 \cdot 10^{-6}$  мм. От размера пор в большей степени зависит характер адсорбции. При адсорбции возможно образование слоев молекул поглощенного вещества толщиной в одну молекулу (мономолекулярная адсорбция), толщиной в несколько молекул, так называемая полимолекулярная адсорбция.

Адсорбенты характеризуются поглотительной способностью (активностью), определяемой количеством вещества, поглощенного единицей массы или объема адсорбента.

Различают *статическую* и *динамическую поглотительную способность*. Статическая поглотительная способность определяется максимально возможным количеством вещества, поглощенного единицей массы (объема) адсорбента.

Динамическая поглотительная способность определяется при пропускании адсорбтива через слой адсорбента и определяется количеством вещества, поглощенного единицей массы (объема) адсорбента от начала адсорбции до «проскока» адсорбтива через слой адсорбента.

Максимальная поглотительная способность адсорбента при определенных температуре, давлении и концентрации адсорбируемого вещества называется *равновесной активностью*. В промышленности используют адсорбенты в виде гранул размером 2...7 мм либо в порошкообразном состоянии с размером частиц 50...200 мкм.

Адсорберы по организации процесса делятся на аппараты периодического и непрерывного действия.

**Адсорберы периодического действия** бывают с неподвижным и псевдооживленным слоем адсорбента. Для очистки растворов в спиртовом и водочном производствах применяют также емкостные адсорберы с механическим перемешиванием.

**Адсорберы непрерывного действия** бывают с движущимся плотным или псевдооживленным слоем адсорбента.

## 4.5. Сушка

В производстве многих пищевых продуктов сушка является обязательной операцией и представляет собой достаточно энергоемкую технологическую стадию процесса. От аппаратурно-технологического оформления и режима сушки зависит в большой степени качество продукта.

Сушке может предшествовать удаление влаги из материалов другими методами, например отжимом на прессах, центрифугированием. Однако механическим способом может быть удалена только часть свободной влаги.

**Сушкой** называют процесс удаления влаги из твердых влажных, пастообразных или жидких материалов (суспензий) путем ее испарения и отвода образовавшихся паров. Это сложный тепло-массообменный процесс. Скорость его во многих случаях определяется скоростью внутридиффузионного переноса влаги в твердом теле.

Сушке подвергают пищевые материалы, находящиеся в различном агрегатном состоянии, а именно: гранулированные, формованные и зернистые материалы; пастообразные материалы; растворы и суспензии.

Выбор метода сушки и типа сушилки осуществляется на основе комплексного анализа свойств пищевых материалов как объектов сушки.

Наиболее важными отличительными свойствами пищевых материалов, которые следует учитывать при выборе метода сушки, являются низкая термостойкость, склонность к окислению и деструкции; склонность к короблению и потере товарного вида; неоднородность материала по начальному содержанию воды; наличие активных биохимических и химически активных веществ и ряд других особенностей.

По способу подвода теплоты к высушиваемому материалу различают следующие методы сушки:

- *конвективная, или воздушная, сушка* — подвод теплоты осуществляется при непосредственном контакте сушильного агента с высушиваемым материалом;
- *контактная сушка* — путем передачи теплоты от теплоносителя (например, насыщенного водяного пара) к материалу через разделяющую их стенку;
- *радиационная сушка* — путем передачи теплоты инфракрасными излучателями;
- *диэлектрическая сушка (СВЧ-сушка)* — путем нагревания материала в поле токов высокой частоты;
- *сублимационная сушка* — сушка в глубоком вакууме в замороженном состоянии.

Требования, предъявляемые к выбору рационального метода сушки и типа сушилки, заключаются в достижении наивыгоднейших технико-экономических показателей работы сушилки при получении продукта с заданными свойствами, обеспечении надежности работы, снижении или исключении газовых выбросов в атмосферу.

Метод сушки и тип сушилки для конкретного материала выбирают на основании анализа материала как объекта сушки. Для этого исследуют структуру высушиваемого материала, тепловые и сорбционно-десорбционные характеристики, на основании которых определяют формы связи влаги с материалом, а также адгезионно-когезионные свойства материала.

Сушилки, применяемые в пищевой промышленности, отличаются разнообразием конструкций и подразделяются *по способу подвода теплоты* (конвективные, контактные и др.); *по виду используемого теплоносителя* (воздух, газ, пар, топочные газы); *по величине давления в сушилке* (атмосферные и вакуумные); *по спо-*

*собу организации процесса* (периодического или непрерывного действия); *по схеме взаимодействия потоков* (прямоточные, противоточные, перекрестного и смешанного тока).

*Конвективные сушилки*, среди которых простейшими являются камерные. *Туннельные сушилки* используют для сушки сухарей, овощей, фруктов, макарон и других продуктов. По организации процесса эти сушилки относятся к сушилкам непрерывного действия.

*Ленточные многоярусные конвейерные сушилки* применяются для сушки макаронных изделий, сухарей, фруктов, овощей, крахмала. *Шахтные сушилки* с движущимся слоем применяют для сушки зерновых сыпучих материалов.

*Вибросушилки* применяют для сушки плохосжимаемых материалов: влажных тонкодисперсных, полидисперсных, комкующихся и т. д., которых в промышленности большинство.

*Барабанные сушилки* применяют для сушки свекловичного жома, зерно-картофельной барды, кукурузных ростков и мезги, зерна и сахара-песка. Сушка в барабанных сушилках происходит при атмосферном давлении. Теплоносителем являются воздух либо топочные газы.

*Вальцовые сушилки* предназначены для сушки жидких и пастообразных материалов: всевозможных паст, кормовых дрожжей и других материалов. *Распылительные сушилки* предназначены для сушки растворов, суспензий и пастообразных материалов. Сушкой распылением получают сухое молоко, молочно-овощные концентраты, пищевые и кормовые дрожжи, яичный порошок и другие продукты.

*Сублимационные сушилки* применяют для сушки пищевых продуктов, когда к высушенному продукту предъявляют высокие требования в отношении сохранения его биологических свойств при длительном хранении, например, мяса в замороженном состоянии, овощей, фруктов и других продуктов. Сублимационную сушку проводят в глубоком вакууме при остаточном давлении 133,3...13,3 Па (1,0...0,1 мм рт. ст.) и при низких температурах.

При сублимационной сушке замороженных продуктов находящаяся в них влага в виде льда переходит непосредственно в пар, минуя жидкое состояние. Перенос влаги в виде пара от поверхности испарения происходит путем эффузии, т. е. свободного движения молекул пара без взаимных столкновений друг с другом.

## 4.6. Кристаллизация

**Кристаллизация** — один из распространенных и наиболее эффективных методов получения вещества в чистом виде.

Кристаллизацией называют процесс выделения твердой фазы в виде кристаллов из растворов и расплавов. Кристаллы представляют собой твердые тела различной геометрической формы, ограниченные плоскими гранями. Кристаллы, содержащие молекулы воды, называют кристаллогидратами.

В пищевой технологии выделение твердой фазы из растворов или расплавов в виде кристаллического продукта является завершающей стадией технологического процесса получения сахарозы, глюкозы, соли и других кристаллических продуктов.

Кристаллизацию, как правило, проводят из водных растворов. При понижении температуры или удалении части растворителя уменьшается растворимость твердого вещества. Раствор становится пересыщенным, и твердое вещество выпадает из раствора в осадок. Производственный технологический процесс кристаллизации состоит из нескольких стадий: кристаллизация, отделение кристаллов от маточных растворов, перекристаллизация (если требуется), промывка и сушка кристаллов.

Твердые вещества в зависимости от того, как меняется их растворимость с повышением температуры, могут обладать «положительной» или «отрицательной» растворимостью. Если растворимость увеличивается с повышением температуры, такие вещества обладают «положительной» растворимостью, если снижается, говорят об «отрицательной» растворимости вещества в данном растворителе.

Раствор, находящийся в равновесии с твердой фазой при данной температуре, называют *насыщенным*. В таких растворах между твердым веществом и раствором имеет место динамическое равновесие, характеризующееся тем, что в единицу времени количество частиц, растворяющихся из кристаллов и переходящих в раствор, равно числу частиц, кристаллизующихся в растворе и переходящих в твердую фазу.

*Пересыщенными* называют такие растворы, в которых концентрация растворенного вещества больше его растворимости. Пересыщенные растворы неустойчивы, легко переходят в насыщенные растворы. При таком переходе из пересыщенных растворов выпадает твердая фаза.

Кристаллизаторы по принципу действия делятся на аппараты *периодического и непрерывного действия с отгонкой части растворителя и с охлаждением раствора*.

**Кристаллизаторы непрерывного действия** состоят из концентратора, кристаллогенератора и камеры роста кристаллов. Конструкция аппарата должна обеспечивать интенсивную циркуляцию, препятствующую осаждению кристаллов в аппарате, улучшающую теплопередачу и обеспечивающую получение равномерных по величине кристаллов.

**Простейшие кристаллизаторы периодического действия** — вертикальные цилиндрические аппараты со змеевиками и механическими мешалками. Процесс кристаллизации в них ведется одновременно с охлаждением раствора.

В пищевой технологии применяют в основном два типа кристаллизаторов: *корытного типа и вращающиеся барабанные*.

Кристаллизаторы корытного типа довольно широко распространены в промышленности. Они просты в обслуживании и надежны в работе.

Барабанные кристаллизаторы бывают с водяным и воздушным охлаждением. При воздушном охлаждении кристаллы получаются более крупными из-за низкого коэффициента теплоотдачи от раствора к воздуху, но при этой производительность кристаллизатора значительно ниже, чем при водяном охлаждении.

***Вопросы для самоконтроля:***

1. Какова сущность и движущая сила абсорбции?
2. Какие виды абсорберов применяются в пищевой промышленности?
3. В чем заключается процесс ректификации?
4. Какие разновидности простой перегонки применяются в пищевой технологии?
5. В чем сущность процесса выщелачивания? Какие компоненты участвуют в процессе выщелачивания?
6. Какие конструкции экстракторов применяются в пищевой промышленности?
7. В чем сущность процесса адсорбции? Какие адсорбенты применяются в пищевой промышленности?
8. Какой процесс называется сушкой?
9. Почему сушка является сложным тепломассообменным процессом?
10. Какие виды сушки применяются в пищевых производствах?
11. В чем заключается сущность процесса кристаллизации?

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Выполнение контрольной работы – важная и обязательная часть самостоятельной учебы студента-заочника.

Учебным планом по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств» для студентов по специальности 110305.65 – «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» предусмотрено выполнение одной контрольной работы.

Контрольную работу рекомендуется выполнять после усвоения теоретического материала по учебнику и рекомендованным учебным пособиям.

Объем контрольной работы не должен превышать размера школьной тетради. Контрольной работой предусмотрено выполнение пяти вопросов задания. Текст вопросов можно не переписывать в тетрадь, но надо обязательно указать их номера в последовательности, установленной настоящими методическими указаниями.

Ответы на вопросы задания должны быть обстоятельными и изложены своими словами. Материалы личных наблюдений (исследований) рекомендуется давать с обсуждением результатов анализа и обоснованными выводами. При отсутствии возможности проведения исследований допускается изложить ответ на вопрос с привлечением опубликованных данных других исследователей с обязательной ссылкой на использованный источник.

Контрольная работа выполняется по тому варианту, который находится в таблице номеров заданий для контрольной работы на пересечении линий последней и предпоследней цифр учебного шифра.

В конце контрольной работы указывается список использованной литературы в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», а также дата выполнения работы и личная подпись.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Основные понятия курса ПАПП.
2. Машины и аппараты по принципу организации процессов.
3. Основные требования к ПАПП.
4. Классификация технологических процессов и аппаратов перерабатывающих производств.
5. Классификация технологических потоков.
6. Современное перерабатывающее производство, закономерности его развития.
7. Основные законы технологических процессов: законы сохранения массы и энергии, равновесия систем, переноса массы и энергии; принципы движущей силы.
8. Материальные и энергетические балансы аппаратов.
9. Основы теории подобия и рационального построения аппаратов. Понятие о приближенном подобии. Основные критерии подобия.
10. Моделирование процессов и аппаратов.
11. Методы и основные правила моделирования.
12. Оптимизация процессов и понятие о выборе критерия оптимизации.
13. Применение процессов измельчения на предприятиях переработки сельскохозяйственной продукции.
14. Кинетические закономерности основных процессов пищевой технологии.
15. Основные конструктивные материалы и их выбор.
16. Сущность процесса измельчения. Степень измельчения и модуль помола. Циклы измельчения.
17. Классификация методов измельчения.
18. Машины и аппараты для измельчения.
19. Основы теории ситового анализа.
20. Классификация методов сортирования: просеивание, сепарация – и их применение на предприятиях, перерабатывающих продукцию растениеводства.
21. Машины и аппараты для сортирования.
22. Теоретические основы перемешивания. Оценка эффективности перемешивания.
23. Механическое, поточное и пневматическое перемешивание, аппараты для их реализации.
24. Особенности перемешивания сыпучих пластических масс.



25. Сущность процессов и элементы теории обработки пищевых продуктов давлением.
26. Машины для обработки давлением (экструдеры, пресс-машины).
27. Физическая сущность процесса экструзии. Экструзионная обработка сырья и применяемое оборудование.
28. Гранулирование продуктов: прессовое, скатывание, обжимом.
29. Основные понятия и определения прикладной гидравлики.
30. Физические свойства жидкости. Режимы движения жидкости.
31. Гидравлические сопротивления. Расчет диаметров трубопроводов.
32. Истечение жидкости из резервуаров.
33. Общие сведения о назначении и типах насосов.
34. Основные параметры работы насосов.
35. Течение жидкости через насадку, распыление жидкости, барботаж.
36. Классификация неоднородных систем.
37. Определение основных размеров аппаратов.
38. Режимы движения жидкости.
39. Методы разделения.
40. Общие требования, предъявляемые к аппаратам для разделения жидких неоднородных систем.
41. Осаждение в гравитационном поле. Отстойники.
42. Осаждение в центробежном поле. Основные закономерности процесса.
43. Центрифуги и сепараторы, их классификация.
44. Фильтрация. Типы фильтрационных процессов.
45. Основные типы фильтрационных аппаратов.
46. Центробежное фильтрование. Фильтрующие центрифуги.
47. Ультрафильтрация и обратный осмос. Полупроницаемые мембраны и фильтрующие элементы.
48. Практическое применение гидромеханических процессов в пищевой промышленности.
49. Способы тепловой обработки пищевых продуктов и материалов.
50. Движущая сила тепловых процессов и основное уравнение теплопередачи. Понятие о температурном поле и температурном градиенте.
51. Виды теплообмена.
52. Типы теплообменных аппаратов.
53. Способы интенсификации тепловых процессов.

54. Специфические тепловые процессы общего назначения: пастеризация, стерилизация, выпаривание.
55. Материальный и тепловой балансы тепловых процессов.
56. Типы выпарных аппаратов.
57. Основы процесса конденсации.
58. Типы применяемых конденсаторов. Расчет поверхностного конденсатора.
59. Основы процессов охлаждения и замораживания.
60. Способы охлаждения и замораживания.
61. Типы и устройства аппаратов для охлаждения и замораживания.
62. Сущность процесса размораживания.
63. Аппараты для размораживания продуктов.
64. Основы теории массообмена. Механизм массообмена.
65. Классификация массообменных процессов по виду и способу взаимодействия фаз.
66. Способы выражения состава фаз. Равновесие фаз.
67. Материальный баланс массообменного процесса.
68. Массопередача, массоотдача и массопроводность.
69. Молекулярная диффузия, термодиффузия, критерии подобия.
70. Особенности массообменных процессов в системах: твердое тело – жидкость; твердое тело – газ.
71. Процесс абсорбции. Материальный баланс и основное уравнение абсорбции. Определение коэффициентов абсорбции.
72. Основные типы абсорберов.
73. Биохимические процессы.
74. Процесс адсорбции и его применение в пищевой технологии. Адсорбенты и их адсорбционная способность. Равновесные соотношения при адсорбции.
75. Десорбция. Методы расчета процесса адсорбции. Основные типы адсорбентов. Ионообменная адсорбция. Регенерация поглотителей.
76. Общая характеристика процесса. Свойства влажных материалов, виды связи влаги.
77. Кинетика процесса сушки. Понятие влагопроводности и термо-влагопроводности. Кривые сушки и кривые скорости сушки.
78. Процессы сушки с подогревом воздуха в сушильной камере, с промежуточным подогревом воздуха, с возвратом обработанного воздуха.

79. Классификация сушилок и аппаратов для сушки продуктов. Сушка в глубоком вакууме, инфракрасными лучами, в поле токов высокой и сверхвысокой частоты, в кипящем слое и во взвешенном состоянии.
80. Основные положения теории перегонки. Классификация процессов перегонки и области их применения. Основные законы перегонки. Кривые равновесия.
81. Простая перегонка, ее сущность. Простая перегонка под вакуумом и с водяным паром.
82. Сложная перегонка (ректификация). Теоретические основы процесса. Многокубовые и колонные аппараты. Основы анализа работы ректификационных аппаратов. Материальный и тепловой баланс. Типы ректификационных аппаратов.
83. Сущность процессов кристаллизации и растворения. Условия осуществления процессов.
84. Способы кристаллизации. Кинетика процесса кристаллизации. Основные условия оптимизации процесса кристаллизации.
85. Периодическая и непрерывная кристаллизация. Типы аппаратов для кристаллизации: вакуум-аппараты, мешалки-кристаллизаторы. Основы расчета аппаратов.
86. Основы теории растворения. Основное уравнение процесса.
87. Физическая сущность и назначение процесса экстрагирования. Механизм экстрагирования в системе твердое тело – жидкость.
88. Диффузионная теория экстрагирования. Основные типы экстракторов. Экстракция в системе жидкость – жидкость, физическая сущность процесса.
89. Методы экстракции. Аппараты для проведения жидкостной экстракции.
90. Химические процессы.
91. Простая перегонка.
92. Кинетика ферментационных процессов.
93. Массообмен в процессах ферментации.
94. Аппаратура для проведения процессов ферментации.
95. Общие принципы расчета машин и аппаратов пищевых производств.
96. Приборы для измерения давления.
97. Режимы движения жидкости.
98. Разделение газовых неоднородных систем.
99. Устройство мембранных аппаратов.
100. Перспективы развития процессов и аппаратов в пищевой технологии.

## ВАРИАНТЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	100, 1, 22, 54, 78	30, 66, 43, 98, 2	82, 62, 53, 2, 27	56, 82, 8, 25, 100	20, 2, 39, 90, 55	46, 63, 82, 4, 26	29, 65, 41, 8, 90	64, 96, 25, 49, 8	68, 13, 34, 5, 82	18, 49, 24, 7, 94
2	42, 8, 60, 90, 25	57, 31, 12, 87, 9	5, 30, 59, 87, 16	6, 47, 75, 26, 14	95, 10, 34, 74, 1	72, 14, 87, 13, 37	89, 38, 64, 11, 20	14, 48, 69, 38, 91	9, 39, 58, 49, 81	54, 74, 48, 27, 8
3	60, 81, 52, 3, 37	74, 32, 51, 9, 21	41, 56, 72, 6, 93	26, 46, 5, 69, 89	50, 75, 11, 93, 26	39, 57, 81, 14, 28	8, 37, 68, 98, 46	55, 87, 37, 16, 47	24, 12, 66, 5, 39	44, 91, 2, 35, 22
4	4, 33, 50, 85, 19	16, 55, 49, 68, 93	66, 9, 31, 43, 91	79, 29, 16, 43, 91	40, 83, 32, 6, 63	32, 15, 80, 4, 48	75, 58, 33, 14, 95	11, 65, 99, 21, 44	90, 64, 47, 3, 75	80, 24, 42, 3, 69
5	21, 45, 15, 96, 64	62, 82, 4, 28, 43	3, 20, 41, 92, 67	34, 69, 23, 92, 1	2, 21, 40, 96, 62	81, 28, 62, 6, 91	13, 36, 63, 22, 91	95, 22, 46, 7, 37	92, 53, 13, 35, 74	25, 73, 35, 8, 61
6	52, 76, 27, 3, 49	35, 61, 8, 95, 47	87, 7, 30, 47, 63	70, 91, 43, 27, 3	19, 53, 67, 8, 91	45, 3, 26, 19, 92	65, 85, 17, 23, 41	49, 72, 88, 15, 63	15, 95, 38, 73, 20	98, 52, 3, 32, 72
7	77, 19, 37, 4, 57	47, 77, 14, 27, 94	7, 90, 54, 24, 71	93, 27, 61, 4, 42	83, 4, 21, 75, 34	88, 35, 79, 7, 61	23, 5, 56, 89, 41	96, 6, 57, 19, 28	59, 90, 18, 73, 3	69, 23, 84, 44, 18
8	11, 43, 29, 65, 100	27, 18, 45, 62, 7	78, 42, 7, 21, 85	36, 59, 70, 6, 23	31, 58, 86, 2, 77	12, 41, 78, 94, 21	84, 71, 19, 7, 45	28, 70, 87, 14, 48	99, 51, 23, 75, 11	33, 92, 85, 25, 11
9	86, 44, 28, 8, 78	94, 54, 71, 44, 3	63, 17, 55, 8, 73	97, 60, 74, 5, 26	71, 94, 10, 23, 45	61, 26, 77, 2, 87	91, 86, 20, 1, 48	76, 40, 90, 21, 1	85, 100, 16, 33, 61	43, 93, 58, 13, 21
0	67, 80, 44, 6, 25	22, 68, 1, 55, 78	51, 78, 9, 23, 42	10, 67, 73, 28, 44	48, 84, 76, 13, 29	58, 79, 6, 21, 40	17, 25, 83, 62, 41	38, 88, 95, 4, 41	73, 89, 34, 52, 66	1, 50, 36, 75, 13

## **СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

### ***а) основная:***

1. Антипов, С. Т. Машины и аппараты пищевых производств / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др. – М. : Высшая школа, 2001.
2. Кавецкий, Г. Д. Процессы и аппараты пищевой технологии / Г. Д. Кавецкий, Б. В. Васильев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 2000. – 551 с.
3. Курочкин, А. А. Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства / А. А. Курочкин, В. В. Лященко. – М. : Колос, 2001. – 440 с.

### ***б) дополнительная:***

1. Кавецкий, Г. Д. Процессы и аппараты пищевых производств / Г. Д. Кавецкий, А. В. Королев. – М. : Агропромиздат, 1991. – 432 с.
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1971. – 783 с.
3. Кук, Г. Д. Процессы и аппараты молочной промышленности / Г. Д. Кук. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 768 с.
4. Липатов, Н. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / Н. Н. Липатов. – М. : Экономика, 1987. – 272 с.
5. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии / учебник. В 2-х кн. / В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов и др. – М. : Логос ; Высшая школа, 2002.
6. Плановский, А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – М. : Химия, 1987. – 496 с.
7. Расчеты и задачи по процессам и аппаратам пищевых производств / под ред. С. М. Гребенюка. – М. : Агропромиздат, 1987. – 304 с.
8. Романков, П. Г. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической технологии / П. Г. Романков, К. Ф. Павлов, А. А. Носков. – Л. : Химия, 1987.
9. Стабников, В. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В. Н. Стабников, В. Н. Лысянский, В. Д. Попов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 510 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i> . . . . .	3
<b>Учебно-тематический план</b> . . . . .	4
<b>Содержание дисциплины</b> . . . . .	5
<b>ВВЕДЕНИЕ. Задачи курса «Процессы и аппараты     пищевых производств». Основные понятия и определения</b> . . . . .	5
<b>1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ</b> . . . . .	8
1.1. Классификация неоднородных систем . . . . .	8
1.2. Методы разделения . . . . .	8
1.3. Псевдооживление . . . . .	10
1.4. Перемешивание . . . . .	12
<i>Вопросы для самоконтроля</i> . . . . .	14
<b>2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ</b> . . . . .	15
2.1. Измельчение и классификация твердых материалов . . . . .	15
2.2. Измельчающие машины . . . . .	16
2.3. Прессование. Обезвоживание и брикетирование . . . . .	17
2.4. Гранулирование и формование . . . . .	18
<i>Вопросы для самоконтроля</i> . . . . .	19
<b>3. ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ</b> . . . . .	20
3.1. Теплопередача . . . . .	20
3.2. Устройство теплообменных аппаратов . . . . .	21
3.3. Выпаривание . . . . .	22
3.4. Устройство выпарных аппаратов . . . . .	24
<i>Вопросы для самоконтроля</i> . . . . .	25
<b>4. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ</b> . . . . .	26
4.1. Абсорбция . . . . .	26
4.2. Перегонка и ректификация . . . . .	27
4.3. Экстракция в системе твердое тело – жидкость . . . . .	31
4.4. Адсорбция . . . . .	32
4.5. Сушка . . . . .	34
4.6. Кристаллизация . . . . .	37
<i>Вопросы для самоконтроля</i> . . . . .	38
<b>Методические указания по выполнению контрольной работы</b> . . . . .	39
<b>Вопросы для контрольной работы</b> . . . . .	40
<b>Варианты для выполнения контрольной работы</b> . . . . .	44
<i>Список рекомендуемой литературы</i> . . . . .	45

Учебное издание

**Сарбатова** Наталья Юрьевна,  
**Сычева** Ольга Владимировна,  
**Епимахова** Елена Эдугардовна

# **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Учебно-методическое пособие

Главный редактор *И. А. Погорелова*  
Заведующий издательским отделом *А. В. Андреев*  
Редактор *И. Н. Олейникова*  
Техническое редактирование и компьютерная верстка *С. А. Мельник*

Подписано в печать 17.04.2007. Формат набора 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. л. 2,8.  
Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная. Печать офсетная. Тираж 300. Заказ № 107.  
Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93-953000  
Издательство Ставропольского государственного аграрного университета «АГРУС»,  
355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12.  
Тел./факс (8652) 35-06-94. E-mail: agrus@stgau.ru; <http://agrus.stgau.ru>

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса СтГАУ «АГРУС»,  
г. Ставрополь, ул. Мира, 302.