

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Саратовский государственный аграрный университет  
имени Н. И. Вавилова»

## **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**краткий курс лекций**

**для аспирантов 3 курса  
направление подготовки**

**19.06.01 Промышленная экология и биотехнологии  
профиль подготовки**

**Процессы и аппараты пищевых производств**

Саратов 2014

УДК 62-93  
ББК 30  
С45

Процессы и аппараты пищевых производств/краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 19.06.01 Промышленная экология и биотехнологии / Сост.: Ф.Я.Рудик // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – 134 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для аспирантов направления подготовки 19.06.01 Промышленная экология и биотехнологии. Краткий курс лекций содержит теоретический материал по основным вопросам дисциплины. Курс лекций направлен на формирование у аспирантов универсальной компетенции «способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях» (УК-1); обще профессиональных компетенций: «Способностью и готовностью к организации и проведению фундаментальных и прикладных научных исследований» (ОПК-1); «Способностью и готовностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в сфере промышленной экологии и биотехнологий; с учетом правил соблюдения авторских прав» (ОПК-3); «Способностью и готовностью к использованию лабораторной и инструментальной базы для получения научных данных» (ОПК-4) и профессиональных компетенций: «Готовность уметь обобщать последние достижения науки, техники и передовых технологий, обеспечивающие увеличение производства пищевой продукции и внедрение в эти процессы прогрессивных методов обработки пищевых продуктов» (ПК-1); «Способность по заданным параметрам выполнять расчеты элементов машин и аппаратов для производства продуктов питания» (ПК-2); «Готовность уметь выбирать способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования» (ПК-3).

© Рудик Ф.Я., 2014  
© ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014

### ***Введение***

Главным направлением увеличения производства продуктов питания является развитие прогрессивной технологии и высокоэффективных процессов, использование которых значительно повышает производительность труда, способствует экономии исходного сырья и энергетических ресурсов, а также сокращает негативное воздействие на окружающую среду. Как самостоятельная область знаний наука о процессах и аппаратах возникла в России. В 1897 г. в книге «Основы фабрично-заводской промышленности» Д.И. Менделеев изложил принципы построения курса процессов и аппаратов и впервые предложил классификацию процессов химической технологии.

Учение о ПАПП опирается на фундамент физики, математики, механики, теплотехники и др. дисциплин. Любой технологический процесс, несмотря на различие методов, представляет собой ряд взаимосвязанных типовых технологических стадий, протекающих в аппаратуре определенного класса. Процессы пищевой технологии достаточно сложны и обычно представляют собой сочетание гидродинамических, тепловых, массообменных, биохимических и механических процессов. Курс дисциплины позволяет получить основные сведения о приборах для измерения уровня, давления и расхода жидкости, о гидростатическом давлении, режимах движения жидкости, гидравлических потерях, истечении жидкости через отверстия и насадки, проанализировать и рассчитать процесс, определить оптимальные параметры, разработать и рассчитать аппаратуру для его проведения.

Краткий курс лекций предназначен для студентов направления подготовки 110800.62 Технология продукции и организация общественного питания.

## Тема 1.

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ПРОЦЕССОВ

#### ВОПРОСЫ:

1. Основные цели и задачи процессов и аппаратов пищевых производств.
2. Общая характеристика основных законов исследования технологических процессов.
3. Принципы расчета процессов и аппаратов пищевых производств.

**1. Цель и задачи дисциплины** заключаются в подготовке решения следующих профессиональных задач:

- анализ проблемных производственных ситуаций, связанных с гидромеханикой, тепломассообменом в технологических средах;
- анализ состояния и динамики показателей качества работы технологического оборудования;
- интенсификация реализуемых процессов;
- разработка технологических линий, включающих гидромеханические, тепловые и массообменные устройства при производстве продуктов питания.

**2. Общая характеристика основных законов исследования технологических процессов.**

Развитие человечества, уже много столетий связано с развитием техники. На протяжении многих лет люди улучшали и модернизировали существующую технику и изобретали новую. Техника же помогала людям развиваться самим, улучшать свои навыки и способности.

Как и весь наш мир техника существует и развивается на основе законов. Разработка законов развития технических систем велась уже достаточно давно. Первую работу по законам развития техники написал Георг Гегель в параграфе «Средство» работы «Наука логики». «Техника механическая и химическая потому и служит целям человека, что ее характер (суть) состоит в определении ее внешними условиями (законами природы)». В 1843 году В. Шульц описал прототип закона полноты частей системы. Он писал, что «можно провести границу между орудием и машиной: заступ, молот, долото и т.д., системы рычагов и винтов, для которых, как бы искусно они ни были сделаны, движущей силой служит человек ... все это подходит под понятие орудия; между тем плуг с движущей его силой животных, ветряные мельницы следует причислить к машинам». Чуть позже некоторые законы развития техники были описаны К. Марксом и Ф. Энгельсом. К. Маркс описал эти законы в разделе «Развитие машин», «...различие между орудием и машиной устанавливается в том, что при орудии движущей силой служит человек, а движущая сила машины – сила природы, отличная от человеческой силы, например животное, вода, ветер и т.д.». Некоторые дополнительные материалы можно найти в работах Ф. Энгельса по истории развития военной техники и ведения войн. Это работы 1860–1861 гг., в частности: «О нарезной пушке», «История винтовки», «Оборона Британии», «Французская легкая пехота» и др. Определенным вкладом в понимании техники и ее законов было создание «философии техники». Этот термин ввел немецкий ученый Эрнест Капп. В 1877 году он выпустил книгу «Основные линии философии техники». Основное развитие этого течения проходило в начале XX века. В основном, развитием «философии техники» занимались немецкие ученые Ф. Дессауер, М. Эйт, М. Шнейдер и др. В России эту тематику разрабатывал П.К. Энгельмейер. В 1911 году он

выпустил книгу «Философия техники». Все эти работы обсуждали теоретические и социальные проблемы техники и технического прогресса. Вопросами истории техники, классификации и определения понятий техники занимались многие ученые в различных странах К. Туссман и И. Мюллер (в Германии), В.И. Свидерский, А.А. Зворыкин, И.Я. Конфедератов, С.В. Шухардин (в России) и др. В 1962 году был выпущен фундаментальный труд по истории техники.

Тем не менее, наука о законах техники только начинает формироваться. И первый этап, естественно, связан с формулированием и обоснованием гипотез о законах строения и развития техники. Сегодня нет пока достаточно обоснованных общепризнанных отдельных законов техники и нет еще даже в гипотезах полной замкнутой системы их системы. Создание такой системы, как и обоснование отдельных законов – одно из важнейших актуальных современных направлений фундаментальных исследований, относящихся к технoзнанию и общей теории проектирования. Это направление ждет своих энтузиастов-исследователей.

Однако, в отличие от недавнего времени сегодня уже имеются теоретические и методические разработки по законам и закономерностям техники, которые представляют большой интерес для практического использования. Законы техники, а также более частные и локальные закономерности могут иметь многоплановое приложение в инженерном творчестве. Во-первых, на основе законов и закономерностей техники могут быть разработаны наиболее эффективные методология и методы инженерного творчества. Во-вторых, привязка законов и закономерностей к конкретному классу технического объекта позволяет определить наиболее структурные свойства, облик и характеристики технического объекта в следующих поколениях.

В данной работе будут рассмотрены наиболее основные законы, нашедшие свое подтверждение на практике, на основании которых можно анализировать существующие технические объекты и со степенью вероятности проектировать дальнейшее развитие отдельных машин и механизмов.

Прежде чем перейти непосредственно к самим законам, нужно дать точное определение техническим объектам, описываемым в этих законах, и дать определения закону, как понятию.

Техника (греческое «техне» – ремесло, искусство, мастерство).

Определения техники можно объединить в три основные группы. Их можно представить следующим образом: техника как искусственная материальная система; техника как средство деятельности; техника как определенные способы деятельности.

Первое значение (техника как искусственная материальная система) выделяет одну из сторон существования техники, относя ее к искусственным материальным образованиям. Но не все искусственным материальным образования являются техникой (например, продукты селекционной деятельности, которые обладают естественной структурой). Поэтому сущность техники не исчерпывается подобными определениями, так как не выделяют технику среди других искусственных материальных образований.

Второе значение также является недостаточным. Техника трактуется как средство труда, средство производства, орудия труда и т.д. Иногда техника определяется сразу и как средства, и как орудия. Но это не корректно, так как и то и другое понятия лежат в одной плоскости рассмотрения и средства труда являются более широким понятием по отношению к орудиям труда.

Третье выделенное значение – техника как определенные способы деятельности. Но этой сущности скорее соответствует понятие «технологический процесс», который, в свою очередь, является элементом технологии.

Технический объект. Понятие «технический объект» обозначает такое техническое явление, которое обладает всеми основными признаками общего класса технических образований. Отдельный технический объект является наиболее полной единичной клеткой технического мира.

Таким образом, технические объекты – это такие образования, которые, выполняя функцию средства человеческой деятельности, интегрируют в себе основные стороны деятельности человека (материальную, научную, художественную). Все другие образования существуют относительно самостоятельно и образуют смежные явления, представляющие отдельные части целого. К ним можно отнести: явления духовной жизни человека; произведения искусства; используемые неизменные природные формы; технические системы, обладающие искусственной природой, но не выполняющие целостной социальной функции.

Наиболее детально характеристику технического объекта дал В.В. Чешев. Он пишет «...технический объект предстает в виде определенной совокупности элементов, в виде определенной вещественной структуры. ...он представляет собой особую «целесообразную форму» проявления некоторого закона природы и должен описываться со стороны технических свойств, проявляемых им при практическом использовании в производственной (или какой-либо другой) сфере деятельности, а также должен быть описан со стороны своего внутреннего содержания как процесс, определяемый законом природы. Описывая техническое устройство совокупностью технических и естественных свойств, мы получаем обобщенное представление о техническом объекте».

Машина (от лат. *machina* – устройство искусственного происхождения (совокупность агрегатов или устройств).

Машиной называют устройство для совершения полезной работы или преобразования энергии. Машины, в которых энергия преобразуется в механическую работу, затрачиваемую на приведение в движение машин-орудий, называют машинами-двигателями. Машины, при помощи которых производится изменение формы, свойств, положения, состояния тех или иных материалов или предметов, называют машинами-орудиями (например, металлорежущий станок). «Идеальная машина» – абстрактный эталон, в реальных условиях недостижимый и отличающийся следующими обстоятельствами:

Все части идеальной машины все время несут полезную расчетную нагрузку.

Материал «идеальной машины» работает так, что его свойства используются наилучшим образом, например, металлические части работают только на растяжение, деревянные части – только на сжатие и т.д.

Для каждой части «идеальной машины» созданы наиболее благоприятные внешние условия (температура, давление, характер движения внешней среды и т.д.).

Если «идеальная машина» передвигается, то вес, объем и площадь полезного груза совпадают или почти совпадают с весом, объемом и площадью самой машины.

«Идеальная машина» способна менять назначение (в пределах своей основной функции).

Межремонтный период частей равен сроку службы всей «идеальной машины».

Сравнивая «идеальную машину» с идеей изобретения, можно судить об уровне, вообще достигнутом в данной отрасли техники, и о качестве найденной идеи.

Механизм – это совокупность тел (обычно – деталей машин), ограничивающих свободу движения друг друга взаимным сопротивлением. Механизмы служат для передачи и преобразования движения. Как преобразователь движения механизм видоизменяет скорости, или траектории, или же и то, и другое. Он преобразует скорости, если при известной скорости одной из его частей другая его часть совершает движение, подобное движению первой, но с другой скоростью. Механизм преобразует траекторию, если, в то время как одна из его точек описывает известную траекторию, другая описывает другую заданную траекторию.

Теперь перейдем к определению закона и требования, которым должны удовлетворять законы техники.

Закон-необходимое, существенное, устойчивое, повторяющееся отношение между явлениями. Закон выражает связь между предметами, составными элементами данного

предмета, между свойствами вещей, а также между свойствами внутри вещи. Но не всякая связь есть закон. Связь может быть необходимой и случайной. Закон – это необходимая связь. Он выражает существенную связь между сосуществующими в пространстве веществами. Это закон функционирования.

Закономерность, обусловленность объективными законами; существование и развитие соответственно законам

А.И. Половинкин сформулировал требования, которым должны удовлетворять законы техники:

Формулировка закона техники должна быть по форме лаконичной, простой, изящной, а по содержанию отвечать данным выше определениям закона.

Формулировка закона техники должна быть обобщенной и отражать очень большое число известных и возможных факторов. Иначе говоря, закон должен допускать эмпирическую проверку на существующих или специально полученных факторах, имеющих количественную или качественную форму. При этом формулировка закона должна быть настолько четкой, что два человека, независимо подбирающие и обрабатывающие фактический материал, должны получить одинаковые результаты проверки.

Формулировка закона техники должна не только констатировать: что, где, когда происходит (то есть упорядочивать и сжато описать факты), но еще, по возможности, дать ответ на вопрос, почему так происходит. В связи с этим заметим, что в науке немало существовало и существует эмпирических законов, которые на отвечают на вопрос «почему?» или отвечают на него частично. И по-видимому, почти нет научных законов (в виду локального характера их действия), которые отвечают на вопрос «почему?». На все вопросы обычно отвечает теория, опирающаяся на несколько законов.

Формулировка закона техники должна быть автономно независимой, то есть к законам будем относить такие обобщенные высказывания, которые не могут быть логически выведены из других законов техники. Выводимые обобщения будем относить к закономерностям техники.

Формулировка закона техники должна учитывать взаимосвязи: «техника – предмет труда», «человек – техника», «техника – природа», «техника – общество».

Формулировка закона техники должна иметь предсказательную функцию, то есть предсказывать новые неизвестные факты, которые могут быть более или менее очевидными, а иногда необычными, парадоксальными.

Формулировка всех законов техники должна иметь четко определенную единую понятийную основу.

Наука о процессах и аппаратах возникла в конце прошлого века. Она представляет собой развитую научную дисциплину и является основой каждой отрасли технологии пищевых производств. Технология - наука о практическом применении законов физики, химии, биологии и других базисных наук для проведения технологических процессов. Условно технология подразделяется на механическую и химическую. Механическая технология изучает такие процессы, при которых изменяются только физические свойства или форма перерабатываемых материалов. Химическая технология изучает процессы, при которых материалы подвергаются химическим превращениям под воздействием различных видов энергии. Одной из ветвей химической технологии и притом древнейшей является производство пищевых продуктов. Содержание курса "Процессы и аппараты пищевых производств" состоит из четырех основных групп процессов: гидродинамические, механические, тепловые и массообменные. Гидродинамические - процессы, основой которых является движение в жидких и газообразных системах (перемешивание, фильтрация, осаждение). Механические - процессы, основой которых является механическое воздействие на материалы (измельчение, смешение, сортирование, прессование). Тепловые - процессы, основой которых является изменение теплового состояния сред, участвующих в процессе (нагревание и охлаждение,

выпаривание, конденсация). Массообменные - процессы, основой которых является массообмен между фазами (абсорбция и адсорбция, экстракция, сушка, кристаллизация, перегонка). Совокупность взаимодействующих тел называется системой. Изменение состояния какой-либо системы, ее непрерывное движение и развитие, происходящее в природе, лаборатории, обществе, именуется процессом. Предметом изучения курса “Процессы и аппараты пищевых производств” являются процессы, искусственно создаваемые в определенных технологических целях. В курсе ”Процессы и аппараты пищевых производств“ рассматриваются не только процессы, но и аппараты, в которых протекают эти процессы. Под словом аппарат понимается любое устройство, в котором протекает технологический процесс. По организационно-технологическому признаку процессы пищевой технологии делятся на:

1 непрерывный процесс – все стадии процесса протекают одновременно в различных аппаратах или различных частях одного аппарата;

2 периодический процесс – все стадии процесса протекают в одном аппарате, но в разное время;

3 комбинированный процесс – отдельные стадии процесса сочетают в себе либо непрерывный, либо периодический процессы. Предпочтение отдают непрерывным процессам, потому что они обладают рядом преимуществ – отсутствуют затраты времени на загрузку и выгрузку материалов; возможность более полной механизации; большая компактность оборудования (что сокращает капитальные и эксплуатационные расходы); более полное использование тепла (за счет отсутствия остановок во время работы).

#### *Законы сохранения массы и энергии*

При расчетах аппаратов определяют массовые потоки перерабатываемого материала, количество необходимой энергии, площадь теплообмена или размеры аппарата. Расчет проводят в следующей последовательности: составляют материальный и энергетический балансы рассматриваемого процесса; определяют направление протекания процесса и условия равновесия; определяют движущую силу; определяют скорость и, наконец, по величине движущей силы и найденной скорости процесса находят рабочую поверхность аппарата.

**Материальный баланс.** На основании закона сохранения массы, количество исходного вещества  $\Sigma G_n$  должно быть равно количеству получившегося вещества  $\Sigma G_k$  с учетом потерь

$$\Sigma G_n - \Sigma G_n = \Sigma G_k + \Sigma G_p(1)$$

Материальный баланс необходим для определения выхода готового продукта на единицу затраченного сырья. Под ним понимают выраженное в процентах отношение полученного количества вещества к максимально возможному. Материальный баланс составляется как для всего процесса в целом, так и для отдельных его стадий.

**Тепловой баланс.** На основании закона сохранения энергии, количество введенной энергии  $\Sigma Q_n$  должно быть равно количеству выделившейся энергии  $\Sigma Q_k$  с учетом потерь  $\Sigma Q_p$

$$\Sigma Q_n = \Sigma Q_k + \Sigma Q_p (2)$$

Частным случаем энергетического баланса является тепловой баланс. Тогда количество введенной теплоты  $\Sigma Q_n$  складывается из теплоты  $Q_1$ , поступающей с исходным веществом, теплоты  $Q_2$ , подводимой извне (например, с теплоносителями) и теплоты физических или химических превращений  $Q_3$ . Количество выделившегося тепла  $\Sigma Q_k$  складывается из теплоты, удаляемой с конечным веществом и отводимой теплоносителем, а также из потерь тепла  $\Sigma Q_p$ . Из теплового баланса находят расход водяного пара, воды, а также расходы других теплоносителей.

#### *Законы фазового равновесия*



Направление изменения в состоянии системы при внешнем воздействии является одним из важнейших вопросов, исследование которого опирается на два положения термодинамики: принцип Ле-Шателье и правило фаз Гиббса. Принцип Ле-Шателье гласит: Если на систему, находящуюся в равновесии воздействует какая-то сила извне, то в системе происходят изменения, приводящие ее в новое состояние равновесия и направление действия этих сил при этом изменении противоположно к внешним силам. Правило фаз Гиббса устанавливает зависимость между числом компонентов системы  $K$ , числом фаз  $f$  и числом степени свободы  $S$

$$S = K - f + 2 \quad (3)$$

В этом уравнении мы встречаемся с понятиями, которые играют большую роль в курсе процессов и аппаратов пищевых производств. Фаза – определенное количество вещества, физически однородное во всей массе. Система может состоять из одной или нескольких фаз. Компонент – чистые химические соединения, из которых состоят фазы и которые могут переходить из одной фазы в другую. Состояние системы определяется совокупностью ее интенсивных свойств – параметров, в качестве которых приняты давление, температура, концентрация, удельный объем.

Число независимых параметров, которое может быть выбрано произвольно и определяет значение остальных параметров, носит название числа степеней свободы. Рассмотрим пример применения принципа Ле-Шателье. Имеется закрытый сосуд с поршнем в верхней части. В сосуд наливается вода, над поверхностью которой под поршнем находится пар. При опускании поршня в сосуде создается давление. Согласно принципу Ле-Шателье при соблюдении изотермических условий в рассматриваемой системе должен начаться противодействующий процесс. Этим процессом будет конденсация пара, что и наблюдается в действительности. Правило фаз Гиббса используется при решении вопроса о равновесии в многофазных системах. Пусть имеется закрытый сосуд, в котором налит раствор этилового спирта в воде. В этой системе число фаз 2: пар и жидкость. Число компонентов также 2: этиловый спирт и вода. Следовательно, число степеней свободы равно 2. Параметрами, определяющими состояние этой системы, будут температура, давление и концентрация спирта. Значит, из этих трех параметров мы можем произвольно установить 2, например концентрацию и температуру. Давление же, определяемое природой системы, устанавливается независимо от нас.

#### *Законы масштабного перехода и моделирования*

Существуют три метода исследования процессов:

1 Экспериментальный – отличается достоверностью получаемых результатов, но относительно дорогостоящий.

2 Аналитический – основан на анализе дифференциальных уравнений. Отличается дешевизной, но недостаточно точен.

3 Синтетический – основан на законах масштабного перехода и моделирования, в основе которых лежит теория подобия. По этому методу эксперименты проводятся на лабораторных моделях, в результате чего составляется математическое описание данного процесса в виде критериального уравнения. Далее это уравнение анализируется для всех подобных аппаратов и процессов, протекающих в этих аппаратах. Подобными называются такие процессы, которые протекают в геометрически подобных аппаратах, имеют равные численные значения критериев в сходственных точках и имеют одинаковые граничные условия. Геометрическое подобие аппаратов заключается в том, что соотношение всех сходственных размеров сравниваемых аппаратов является величиной постоянной.

Временное подобие заключается в том, что отношение между интервалами времени завершения аналогичных стадий процесса сохраняется постоянным.

Подобие физических величин предполагает, для двух любых сходственных точек природы и модели, размещенных подобно в пространстве и времени, отношения физических свойств являются величинами постоянными.

Подобие граничных условий заключается в том, что отношение всех значений величин, характеризующих эти условия, для сходственных точек в сходственные моменты времени сохраняется постоянным. Подобие начальных условий означает, что в начальный момент, когда начинается изучение процесса, соблюдается подобие полей физических величин, характеризующих процесс. Теория подобия основывается на трех теоремах: Первая отвечает на вопрос: что нужно измерить в ходе эксперимента? Ответ - измерять нужно те величины или параметры, которые входят в критерии подобия. Вторая отвечает на вопрос: в каком виде необходимо представить результаты эксперимента на модели? Ответ – их необходимо представить в виде критериальных уравнений. Третья отвечает на вопрос: на какие аппараты можно распространить полученные экспериментально критериальные уравнения? Ответ – полученные уравнения можно распространить на геометрически пропорциональные аппараты, в которых соблюдены условия равенства критериев в сходственных точках и граничные условия. Теория подобия позволяет совместить плюсы качества экспериментальных и аналитических методов исследования, при этом выгод от данного исследования получаем больше, а материальных затрат меньше.

### **3. Принципы расчета процессов и аппаратов пищевых производств.**

Расчет машин и аппаратов предусматривает определение массовых потоков перерабатываемых материалов, а также количеств необходимой энергии, оптимальной площади тепломассообменной поверхности (объема) аппарата или продолжительности процесса, основных размеров машин и аппаратов.

Анализ кинетических закономерностей позволяет оценить условия процесса и определить оптимальные, соответствующие минимальным размерам машин и аппаратов.

Анализ процессов и расчет машин и аппаратов проводят в следующем порядке: составляют материальный и энергетический балансы процесса; исходя из статики, определяют направление течения процесса и условия равновесия; вычисляют движущую силу; на основании кинетики определяют скорость процесса. По данным о скорости процесса и величине движущей силы при найденном оптимальном режиме процесса определяют основной размер аппарата - рабочий объем или рабочую площадь поверхности. По основному размеру определяют все остальные размеры аппарата.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Какому общему закону подчиняются процессы пищевой технологии?
2. Законы фазового равновесия?
3. Законы масштабного перехода и моделирования?

#### Список литературы

##### Основная

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
2. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 1 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 704 с. ISBN 978-5-98879-041-9

3. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика : учебник / Д. В. Штеренлихт. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : КолосС, 2007. - 655 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0595-5

Дополнительная

1. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник / Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.
2. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

## Тема 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

### ВОПРОСЫ:

1. Процессы измельчения пищевых сред. Физические основы процесса.
2. Теория измельчения.

#### 1. Процессы измельчения пищевых сред. Физические основы процесса.

Измельчение осуществляется под действием внешних сил, преодолевающих силы взаимного сцепления частиц материала. При дроблении куски твердого материала сначала подвергаются объемной деформации, а затем разрушаются по ослабленным дефектам (макро- и микротрещинами) сечением с образованием новых поверхностей. Куски продуктов дробления, ослабленные трещинами, значительно мельче исходных. Поэтому с увеличением степени измельчения возрастает расход энергии на измельчение. Согласно гипотезе академика П.А. Ребиндера, затраты энергии  $A$  (Н·м) на измельчение какого-либо продукта для получения конечного продукта, состоящего из частиц определенной дисперсности, могут быть выражены формулой

(4)

где  $K$  - энергия, расходуемая на процессы деформации и образования продуктов износа рабочих органов измельчающей машины (Н·м);

$\sigma_p$  - разрушающее напряжение измельчаемого материала, Н/м<sup>2</sup>;

$V$  - объем измельчаемого материала, м<sup>3</sup>;

$E$  - модуль упругости измельчаемого материала Н/м<sup>2</sup>;

$m_y$  - число циклов деформации частиц;

$k_p$  - энергия на образование 1 м<sup>2</sup> новой поверхности для данного материала, Н/м<sup>2</sup>;

$\Delta S = S_K - S_H$  - вновь образованная поверхность ( $S_K$ ,  $S_H$  - общая поверхность материала после и до измельчения), м<sup>2</sup>;

$a$  - безразмерный коэффициент, характеризующий для машины данной конструкции процесс образования новой поверхности:

$$a = (S_K S_H)^n = i^n$$

(5)

где  $n$  - показатель степени, зависящий от условий измельчения.

Анализ уравнений показывает, что для уменьшения энергозатрат следует стремиться к уменьшению упругих деформаций рабочих органов дробилок и повышению их износостойкости, к уменьшению числа циклов деформаций частиц измельчаемого материала и к снижению разрушающих напряжений измельчаемого продукта. Процессы измельчения связаны с затратами большого количества энергии. Расход энергии на измельчение может быть определен из существующих теорий измельчения. Поверхностная теория исходит из того, что при измельчении работа расходуется на преодоление сил молекулярного притяжения по поверхностям разрушения материала. Из этой теории следует, что работа, необходимая для измельчения, пропорциональна вновь образующейся поверхности измельчаемого материала. Объемная теория исходит из того, что при измельчении работа расходуется на деформации материала до достижения предельной разрушающей деформации. Отсюда следует, что работа, необходимая для измельчения, пропорциональна уменьшению объема кусков материала перед их разрушением.

#### 2. Теория измельчения.

В зависимости от реологических свойств разрезаемого материала фаски оказывают различное влияние: в одном случае увеличивают усилие резания, в другом – уменьшают.

Для выбора наиболее выгодной геометрии режущей кромки необходимо знать зависимости усилий резания от толщины ножа, формы и угла заточки кромки. Помимо этого геометрия режущего инструмента оказывает существенное влияние и на чистоту разреза.

Реологические свойства обрабатываемого материала находятся в тесной зависимости с геометрией режущей кромки ножей. Так, наличие фасок напрямую зависит от элементарных реакций, возникающих при внедрении лезвия в обрабатываемый материал.

Технологическим свойством продукта в процессе резания специальными ножами является степень его податливости разделению на части под воздействием инструмента.

В начальный момент резания усилие резания возрастает. Это вызвано преодолением возникающих в продукте пластических деформаций.

При дальнейшем погружении ножа на глубину в  $0,5 h$  лезвия усилие растет медленнее и достигает максимального значения при погружении лезвия на  $0,8 h$ . При этом появляется опережающая трещина, распространяющаяся по линии разрушения. В конце процесса усилие резко уменьшается.

Данная зависимость позволяет определить величину критического усилия  $P_{кр}$  резания, т.е. усилия, которое необходимо приложить оператору к ножу для того, чтобы под воздействием его лезвия материал начал разделяться на части. Для его расчета необходимо знать как конструктивные параметры лезвия ножа, так и режимные параметры, а так же ряд физико-механических параметров материала.

Разделению материала на части при резании под воздействием лезвия предшествует процесс предварительного сжатия им материала до возникновения на его кромке разрушающего контактного напряжения  $\sigma_p$ . Момент возникновения  $\sigma_p$  определяется значением усилия  $P_{кр}$ , прикладываемого к ножу и преодолевающего ряд сопротивлений различного происхождения, возникающих в продукте.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое измельчение?
2. В чем заключается теория процесса резания?
3. Какие законы измельчения вы знаете?

#### Список литературы

##### Основная

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
2. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6
3. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 1 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 704 с. ISBN 978-5-98879-041-9
4. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

##### Дополнительная

1. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.
2. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

### Тема 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

#### ВОПРОСЫ:

1. Процессы сортирования и калибрования и просеивания пищевого сырья. Цели и задачи. Классификация процессов.
2. Аппаратурное оформление процессов.

Сортирование, или классификация – это процесс разделения смесей различных сыпучих продуктов на фракции одинакового качества и степени зрелости, различающиеся размерами и физическими свойствами.

Калибрование – разделение различных продуктов на фракции с одинаковыми размерами по форме и массе.

Сепарирование – процесс разделения сыпучих продуктов на фракции, различающиеся физическими и геометрическими размерами; при этом для разделения используют следующие признаки: плотность частиц, линейные размеры, аэродинамические и ферромагнитные свойства, состояние поверхности и др.

Очистка – процесс отделения посторонних примесей из исходного сыпучего продукта. Для разделения сыпучих пищевых продуктов используются сепараторы. Различают простые и сложные сепараторы.

Простыми (элементарными) – называют сепараторы, в которых исходная смесь разделяется по одному из признаков на две фракции (сито, триер, и т. п.).

Сложные – представляют собой соединение нескольких простых сепараторов в одной машине. В них сепарируют зерновые смеси на три и более фракции по нескольким признакам. К сложным сепараторам относят: воздушно-ситовые сепараторы; ситовые сепараторы, имеющие два и более сит; рассевы; ситовечные машины; пневмосортировальные столы, дающие три и более фракции и т. п.

В соответствии с технологическим назначением и областью применения сепарирующие машины делят:

- на машины для разделения смесей по ширине, толщине и форме поперечного сечения частиц – ситовые сепараторы;
- машины для разделения смесей по длине частиц – триеры цилиндрические и дисковые;
- машины для разделения смесей по аэродинамическим свойствам – воздушные сепараторы;
- машины для разделения смесей по ширине, толщине и аэродинамическим свойствам – воздушно-ситовые сепараторы;
- машины для разделения смесей по гравитационным свойствам (индивидуальной массе, плотности) – камнеотборники и пневмосортировальные столы;
- машины для разделения смесей по упругости и коэффициенту ударного трения – отражательные столы, падди-машины;
- машины для разделения смесей по фрикционным свойствам – фрикционные сепараторы, горки;
- машины для разделения смесей по разности магнитных свойств компонентов – магнитные и электромагнитные сепараторы;
- машины для разделения смесей по различию цветов компонентов (коэффициенту отражения светового потока) – оптические и фотоэлектронные сепараторы;
- машины для разделения смесей по электрическим свойствам (по диэлектрической проницаемости) – электростатические и коронные сепараторы.

Калибровка — разделение продукта на группы с приблизительно одинаковыми размерами и массой, сортировка — на группы приблизительно одинакового качества.

Ленточные калибровочные устройства (рисунок 1, а) представляют собой последовательно смонтированные под наклоном ленточные транспортеры с отверстиями разных диаметров ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ). Продукт, попадая на ленте транспортера в отверстия своего диаметра, разделяется на три группы. Вместо ленты можно использовать вибрационные полотна или одно полотно, разделенное по ширине на зоны с различными отверстиями.

Вибрационные калибровочные устройства (рисунок 1, б) применяют для калибровки картофеля и других твердых плодов.

Барабанные калибровочные устройства (рисунок 1, в, г) представляют собой вращающиеся барабаны с отверстиями на поверхности. Поверхность разделена на зоны с отверстиями возрастающих размеров, имеющих различную форму: круглую, овальную. Разновидностью барабанных калибровочных устройств являются параллельно смонтированные вращающиеся перфорированные барабаны 3, между которыми имеется плоская наклонная поверхность (улей) 2. Плод попадает в отверстие барабана и падает в сборный лоток 1 внутри барабана, а затем отводится на дальнейшую переработку. Более крупные плоды попадают на следующий барабан и т. д.

Дисковые калибровочные устройства (рисунок 1, д) состоят из вращающегося корпусного диска 2 и продолговатых ребер 3 и 4, расположенных над диском так, что образуют отверстия диаметром  $d_1$ ,  $d_2$  и  $d_3$ .

Размеры отверстия можно регулировать изменением положения ребер над поверхностью диска.

Плоды 1, попадая на поверхность диска гравитационно и под действием центробежной силы, образующейся при его вращении, выталкиваются в отверстия между ребром и поверхностью диска.

В валиковых калибровочных устройствах (рисунок 1, е) и валико-ленточных (рисунок 1, з) отверстие образуется соответственно между двумя параллельно смонтированными вращающимися ступенчатыми валиками 1, между ступенчатым валиком 1 и наклонно смонтированным ленточным транспортером 2.

Тросовое калибровочное устройство (рисунок 3.1, ж) состоит из движущихся непараллельно расходящихся тросов. Сверху показано положение плода, когда он лежит на движущихся тросах, расстояние  $S$  между центрами которых меньше диаметра  $d$  плода. Когда расстояние между тросами превышает диаметр плода, он падает в сборник. Шнековое калибровочное устройство (рисунок 1, и) осуществляет калибровку плодов шаровидной формы двумя вращающимися в противоположные стороны шнеками с постоянным шагом и уменьшающимся диаметром.

Конусное калибровочное устройство (рисунок 1, к) аналогично по устройству шнековому калибровочному устройству. Калибрующий эффект обеспечивается двумя коническими валиками, расстояние между образующими которых постоянно увеличивается.



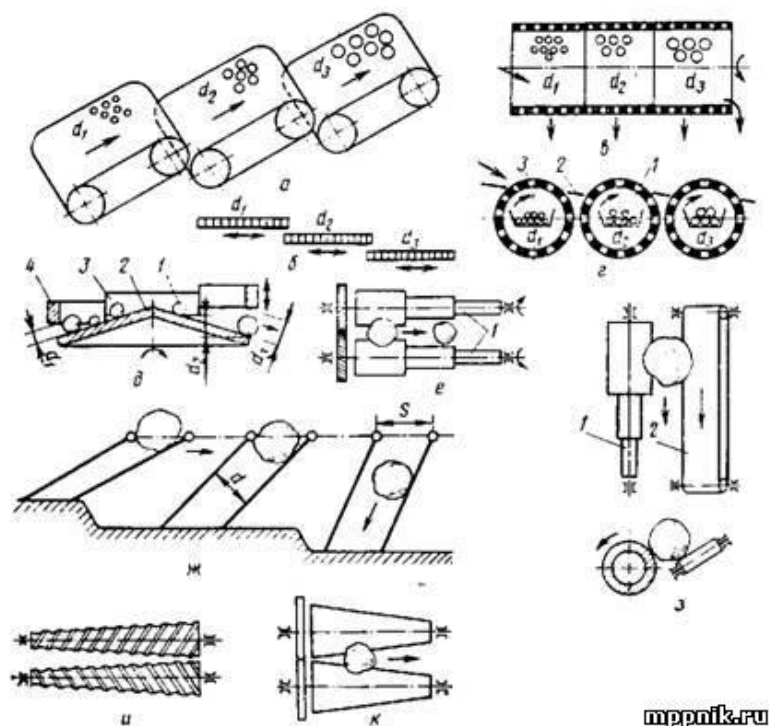


Рисунок 1 – Калибровочные устройства

Весовые калибровочные устройства пригодны для калибровки плодов любой геометрической формы: плоской, округлой, шарообразной и удлиненной. Кроме того, их производительность теоретически не ограничена. Калибровочное устройство состоит из ряда последовательно установленных стационарных весовых устройств и движущегося чашечного транспортера с плодами; применяют также весовые калибровочные устройства, состоящие из движущихся объединенных механизмов весы — чашка.

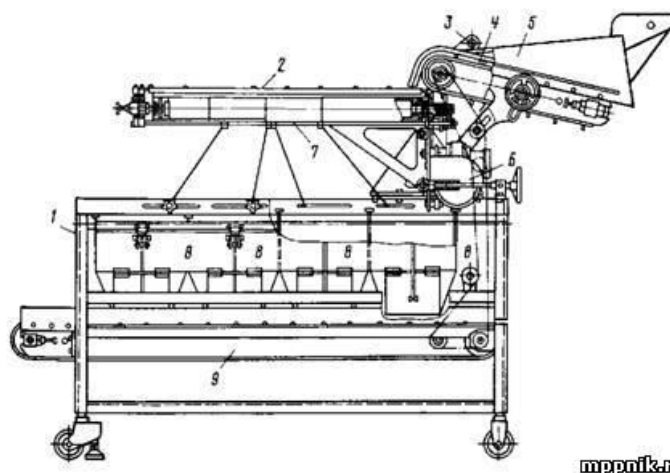


Рисунок 2 - Универсальная калибровочная машина

Универсальная калибровочная машина (рисунок 2) со сменными рабочими органами предназначена для калибровки почти всех видов плодов и овощей. Продукт поступает в нее пятью потоками, вследствие чего значительно повышается производительность машины.

Машина состоит из станины 1, загрузочного устройства 5, калибровочной головки 2, сборников 8 для вывода продукта из машины и привода 6. В калибровочной головке расположено пять пар ступенчатых валиков 7, вращающихся навстречу друг другу. Комплект, состоящий из ступенчатых и шнековых валиков разных размеров, калибрует плоды и овощи, различающиеся по форме и размеру. Продукт подается в калибровочную

головку вращающимися сбрасывателями 3, установленными над пятью наклонными ленточными транспортерами 4.

В зависимости от формы продукта ступенчатые валики можно наклонить на угол до  $18^\circ$ , обеспечивая при этом поступательное движение продукта.

Из калибровочной головки плоды поступают в сборники 8. По мере их заполнения плоды одного размера направляются ленточным транспортером 9 на укладку в консервные банки или в ящики.

Привод состоит из электродвигателя с червячным редуктором и цепных передач, вращающих ступенчатые валики или шнеки.

Производительность машины 0,28...0,42 кг/с (1000...1400 кг/ч); частота вращения ступенчатых валиков  $38 \text{ мин}^{-1}$ , шнековых  $55 \text{ мин}^{-1}$  (соответственно 3,8 и 5,5 рад/с); мощность электродвигателя 1 кВт; габаритные размеры 3038x1792x2176 мм; масса машины 1190 кг.

Шнековая калибровочная машина осуществляет калибровку двумя вращающимися в противоположные стороны шнеками с постоянным шагом и уменьшающимся диаметром. Этими устройствами обеспечивается калибровка плодов шаровидной формы.

Четыре пары шнековых калибрующих элементов смонтированы на станине из угловой стали. Под калибрующими элементами расположен ленточный транспортер, разделенный перегородками на 10 потоков. Продукт в зависимости от размера попадает в один из потоков и выносится транспортером к месту назначения. В шнековых калибровочных машинах диаметр вала в каждом последующем витке отличается от диаметра вала в предыдущем витке на 5 мм, поэтому диаметр плодов в каждом потоке ленточного транспортера, отделенном перегородкой, отличается на 5 мм.

Производительность машины изменяется в пределах 600... 1000 кг/ч (0,17...0,28 кг/с). Техническая производительность может быть рассчитана, исходя из частоты вращения шнековых калибрующих элементов. По паспортным данным, она составляет  $54 \text{ мин}^{-1}$ , т. е. калибрующие элементы принимают 54 плода в минуту. Таким образом, при четырех парах шнековых калибрующих элементов и средней массе плода (яблока) 60 г производительность машины 777 кг/ч. Масса машины 470 кг. Необходимая мощность электродвигателя 0,7 кВт.

#### Вопросы для самоконтроля

4. Что такое сортирование?
5. Что такое калибрование?
6. Перечислите виды калибровочных машин.

#### Список литературы

##### Основная

5. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
6. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6
7. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 1 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 704 с. ISBN 978-5-98879-041-9
8. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

##### Дополнительная

3. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.

4. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

## ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

1. Неоднородные системы и методы их разделения..
2. Аппаратурное оформление процесса разделения неоднородных систем.
3. Процессы разделения неоднородных систем «газ – твердое тело». Классификация аппаратов для реализации процесса. Пылеуловители, фильтры, осадители.

Многие технологические процессы в пищевой промышленности сопровождаются образованием и выделением в окружающую среду неоднородных систем «газ — твердое тело» (пыли, дымы), называемых аэрозолями. Пыли содержат твердые частицы размером от 5 до 50 мкм; дымы — от 5,0 до 0,1 мкм.

Пыли и дымы оказывают неблагоприятное воздействие на работающих, вызывают преждевременный износ технологического оборудования; пылевые выбросы загрязняют окружающую среду. Выделение пыли связано с потерей части сырья и готовой продукции. Большинство пылей пищевых производств, имеющих органическую основу, способны образовывать с воздухом взрывоопасные смеси; отложения пыли представляют большую пожароопасность.

На пищевых предприятиях широко применяется очистка не только промышленных газов, но и воздуха, используемого в технологических целях. Воздух, поступающий для аэрации массы в бродильных и других биохимических производствах, должен быть очищен от механических примесей и микроорганизмов, а в ряде случаев должен быть стерилизован, чтобы не инфицировать биомассу. При аэрации зерна в процессе рашения солода воздух должен иметь определенную температуру, относительную влажность и чистоту от примесей для обеспечения оптимальных условий рашения солода и накопления в нем ферментов.

Воздух, выходящий из конвективных сушилок для сахара, молока и других продуктов, из пневмотранспортных установок для муки и зерна, а также воздух, используемый для аспирации дробильных и мельничных установок, уносит с собой часть пылевидного продукта, который, загрязняя атмосферу рабочего помещения, создает неблагоприятные условия труда. Особую опасность вызывает загрязнение воздуха в рабочем помещении сахарной и мучной пылью, способной при наличии открытого огня взрываться.

Повышение эффективности очистки выбросов в атмосферу позволяет дополнительно уловить и вернуть в производство или использовать в других полезных целях значительное количество пищевого и кормового сырья и готовой продукции. Таким образом, эффективное разделение неоднородных систем «газ — твердое тело» в пищевой промышленности имеет не только санитарно-гигиеническое, экологическое, но и большое экономическое значение.

По способу разделения неоднородных систем «газ — твердое тело» пылеуловители подразделяют на аппараты сухой, мокрой и электрической очистки газов. В основе работы сухих пылеуловителей лежат гравитационные, инерционные и центробежные механизмы осаждения. Самостоятельную группу аппаратов сухой очистки представляют пылеуловители фильтрационного действия. В основе работы мокрых пылеуловителей лежит контакт запыленных газов с промывной жидкостью; при этом осаждение частиц происходит на капли, поверхность газовых пузырей или пленку жидкости. В электрофильтрах осаждение частиц пыли происходит за счет сообщения им электрического заряда.

Классификация пылеуловителей (рисунок 3) не претендует на исчерпывающий характер, т. к. существует значительное число аппаратов, работа которых основана на совмещении различных механизмов осаждения.



Рисунок – 3. Схема классификации пылеуловителей

Так, например, зернистый фильтр при подаче на фильтровальную перегородку жидкости для повышения эффективности пылеулавливания может быть отнесен к категории мокрых пылеуловителей.

То же самое можно сказать и о мокром электроfiltре. Поэтому данную классификацию следует рассматривать как условную, позволяющую в то же время достаточно наглядно охватить абсолютное большинство пылеуловителей.

*Эффективность очистки газов* (степень очистки, КПД) обычно выражают отношением массы уловленного материала к массе материала, поступившего в газоочистной аппарат с пылегазовым потоком за определенный период времени.

Эффективность очистки в пылеулавливающих аппаратах определяют несколькими способами:

- по содержанию пыли в газах перед газоочистным аппаратом и на выходе из него
- по концентрации пыли в газах перед аппаратом и количеству уловленной пыли
- по количеству уловленной аппаратом пыли

Пылеуловители — устройства, предназначенные для очистки от пыли вентиляционного воздуха, выбрасываемого в атмосферу.

По принципу действия обеспыливающие устройства можно разделить на четыре группы: гравитационные пылеуловители, инерционные пылеуловители (сухие и мокрые), пылеуловители и фильтры контактного действия и электрические пылеуловители и фильтры. Гравитационные пылеуловители действуют на принципе использования гравитационных сил, или сил тяжести, обуславливающих оседание из воздуха пылевых частиц. На этом принципе основано устройство пылесадочных камер. Инерционные пылеуловители (сухие и мокрые) действуют на принципе использования инерционных

сил, возникающих при изменении направления движения запыленного воздушного потока. К таким устройствам относятся циклоны разнообразной конструкции, центробежные скрубберы и циклоны-промыватели, струйные пылеуловители типа ротоклон и пылеуловители Вентури. Пылеуловители и фильтры контактного действия задерживают пылевые частицы при пропускании запыленного воздуха через сухие или смоченные пористые материалы: ткань, слой синтетических волокон, бумагу, проволочную сетку, слои зернистых материалов, керамических или металлических колец и т. п.

Электрические пылеуловители и фильтры очищают воздух(или газ) от взвешенных в нем частиц(пыль, туман, дым) путем ионизации их при прохождении через электрическое поле. Действие пылеуловителей и фильтров характеризуется следующими показателями: степенью очистки, пропускной способностью или удельной воздушной нагрузкой, пылеемкостью, аэродинамическим сопротивлением, расходом энергии и стоимостью очистки.

Гравитационные пылеуловители: простейшим типом пылеуловителей являются пылеосадочные камеры, относящиеся к гравитационным пылеуловителям. Их действие основано на том, что скорость потока запыленного воздуха, поступающего в камеру и расширяющегося в ней, уменьшается, вследствие чего находящиеся в нем твердые частицы осаждаются под влиянием собственного веса.

Инерционные пылеуловители:

1) Сухие:

- Циклоны представляют собой пылеулавливающие аппараты, в которых улавливание пыли происходит в результате инерции. Очищаемый воздух, поступая в верхнюю цилиндрическую часть циклона тангенциально и вращаясь,

опускается из кольцевого пространства, образуемого корпусом циклона и выхлопной трубой, в конусную часть и, продолжая вращаться, поднимается, выходя через выхлопную трубу.

- Ротационный пылеуловитель представляет собой вентилятор, который одновременно с перемещением воздуха очищает его от пыли. Очистка воздуха происходит под действием центробежных сил, возникающих при вращении рабочего колеса.

2) Мокрые:

- Центробежный скруббер.

Запыленный воздух вводится в скруббер наклонно-расположенным патрубком, в котором находится смывное приспособление. Воздушный поток со смоченными и укрупненными частицами пыли со скоростью 15-23 м/с входит тангенциально в корпус. По стенкам корпуса сверху вниз винтообразно стекает водяная пленка, подаваемая оросительной трубкой через форсунки, установленные касательно к внутренней поверхности цилиндра. Эта пленка смывает отделяющуюся пыль со стенок вниз. Шлам собирается в конусе и через конусный патрубок(гидрозатвор) поступает в шламоотстойник.

- Циклон-промыватель.

Улавливание пыли происходит в результате осаждения ее на смоченную внутреннюю

поверхность стенок корпуса под действием сил инерции и благодаря промывки воздуха водой, распыляемой во входном патрубке воздушным потоком. Вода подается в циклон во входной патрубок и на днище

водораспределителя, которое расположено в верхней части циклона. Для поддержания постоянного давления воды, необходимой для промывки воздуха, циклон-промыватель снабжается водонапорным бачком с шаровым клапаном.

Пылеуловитель Вентури (турбулентный промыватель)

Основан на использовании энергии газового потока для распыления впрыскиваемой воды. Газовый поток, имеющий высокую степень турбулентности, способствует коагуляции частиц. Крупные капли жидкости, содержащие частицы пыли, легко улавливаются в устанавливаемых вслед за трубой Вентури мокрых циклонах, циклонах-каплеуловителях.

**Пенный пылеуловитель.**

Пенные газоочистители применяют для очистки от пыли нейтральных газов температурой до 100° С, которые не образуют в процессе промывки водой кристаллизующихся солей, забивающих отверстия решеток или отлагающихся на поверхностях аппарата. Очищаемые газы должны иметь плотность не менее 0,6 кг/м<sup>3</sup> и высокую начальную запыленность. Степень очистки при размерах частиц 15-20 мкм составляет 96-90%, при размерах частиц 3-5 мкм падает до 80%.

Тканевые рукавные пылеуловители получили большое распространение для улавливания тонких и грубых фракций пыли. Они служат для улавливания пыли из технологических газов и вентиляционного воздуха. Во избежание конденсации влаги на ткани и стенках рукавов при установке пылеуловителей следует учитывать температуру и влажность очищаемого воздуха. Регенерация ткани осуществляется одновременным встряхиванием рукавов и их обратной продувкой. В этом случае регенерируемая секция отключается от коллектора очищенного воздуха.

**Электрические пылеуловители.**

В электропылеуловителях содержащиеся в воздухе частицы пыли приобретают заряд осаждаются на осадительных электродах. Эти процессы происходят в электрическом поле, образованном двумя электродами с разноименными зарядами. Один из электродов является одновременно и осадителем.

**Фильтры**, используемые для разделения суспензии, работают как под вакуумом, так и под избыточным давлением, периодически и непрерывно. К фильтрам, работающим под давлением, предъявляют повышенные требования к механической прочности. Их изготавливают по нормам Госгорконтнадзора для сосудов, работающих под давлением.

В фильтрах периодического действия осадок удаляется после прекращения процесса фильтрования, в фильтрах непрерывного действия – по мере необходимости без остановки процесса.

При разработке новых видов фильтровального оборудования следует ориентироваться на создание компактных аппаратов с развитой фильтровальной поверхностью, позволяющих проводить ее регенерацию без остановки технологического процесса.

Нутч-фильтр (рисунок 4), работающий как под вакуумом, так и под избыточным давлением, широко распространен в малотоннажных производствах. Выгрузка из него осадка механизирована. Для сброса осадка фильтр снабжен перемешивающим устройством в виде однолопастной мешалки. Для удаления осадка из фильтра на цилиндрической части корпуса предусмотрен люк.

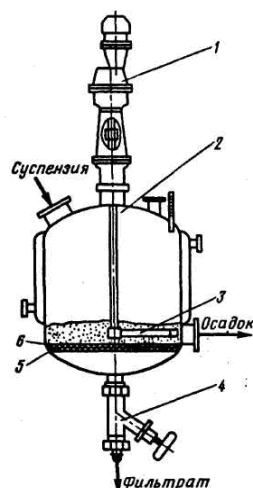


Рисунок 4. –Нутч-фильтр с перемешивающим устройством:  
1 – привод, 2 – корпус фильтра, 3 – мешалка, 4 – спускной кран, 5 –  
фильтровальная перегородка, 6 – фильтровальная ткань

Суспензия и сжатый воздух подаются через отдельные штуцера, фильтрат удаляется через спускной кран 4. Фильтр снабжен предохранительным клапаном.

Цикл работы фильтра состоит из заполнения его суспензией, фильтрования суспензии под давлением, удаления осадка с фильтровальной перегородки при вращающейся мешалке и регенерации фильтровальной перегородки. В таких фильтрах может проводиться одновременно промывка осадка.

Для фильтрования суспензии применяют фильтровальные перегородки из картона, бельтинга и синтетических волокон. Преимуществами фильтровальных перегородок из синтетических волокон являются высокая механическая прочность, термическая и химическая стойкость.

Из синтетических волокон изготавливают фильтровальные перегородки с постепенно изменяющейся плотностью, что обеспечивает глубинное фильтрование суспензий, содержащих малое количество твердой фазы. Меняющаяся по глубине плотность фильтровального материала позволяет захватывать частицы по всей глубине фильтра. При этом крупные частицы задерживаются в наружных, а мелкие — в глубинных слоях фильтра. Селективное фильтрование обеспечивает высокую скорость фильтруемой среды, предотвращает закупоривание поверхностных пор и продлевает срок службы фильтров.

Рамный фильтр-пресс (рисунок 5.) используется для осветления виноматериалов, вина, молока и пива. Фильтрующий блок состоит из чередующихся рам и плит с зажатой между ними фильтровальной тканью или картоном. Рамы и плиты зажимаются в направляющих 6 зажимным винтом 1.5. Фильтр монтируют на металлической станине.

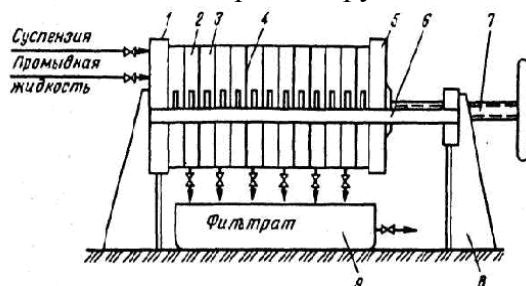


Рисунок 5. – Рамный фильтр-пресс:  
1 – опорная плита; 2 – рама; 3 – плита; 4 – фильтровальная перегородка; 5 –  
подвижная плита; 6 – горизонтальная направляющая; 7 – винт; 8 – станина; 9 – желоб



Каждая рама и плита (рисунок .) имеют каналы для ввода суспензии и промывной жидкости. На поверхности плит с обеих сторон расположены сборные каналы 4, ограниченные сверху дренажными каналами, а снизу отводным каналом.

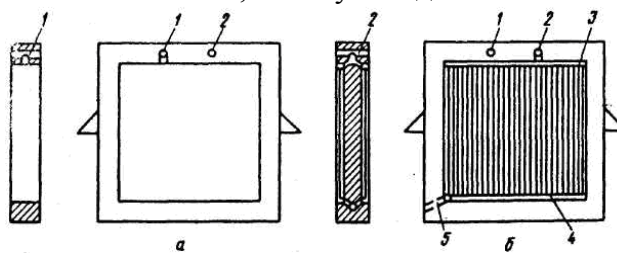


Рисунок 6. – Рама (а) и плита (б) фильтр-пресса:

1,2 – каналы для ввода суспензии и промывной жидкости; 3 – дренажный канал; 4 – сборный канал; 5 – отводной канал

При фильтровании (рисунок 6, а) суспензия под давлением подается через каналы в рамах и плитах и распределяется по всем рамам. Фильтрат стекает по дренажным и сборным каналам в плитах и удаляется через отводные каналы. При промывке осадка (рисунок 6, б) промывная жидкость под давлением вводится через соответствующие каналы, распределяется по рамам и проходит обратным током через фильтровальную перегородку, промывает осадок, а затем удаляется из фильтра через отводные каналы. При промывке отводные каналы всех нечетных плит блока должны быть закрыты.

Основной недостаток рамных фильтр-прессов – трудоемкость выгрузки осадка и замены фильтровальной перегородки. Для выгрузки осадка необходимы разборка вручную фильтровального блока и промывка плит и рам.

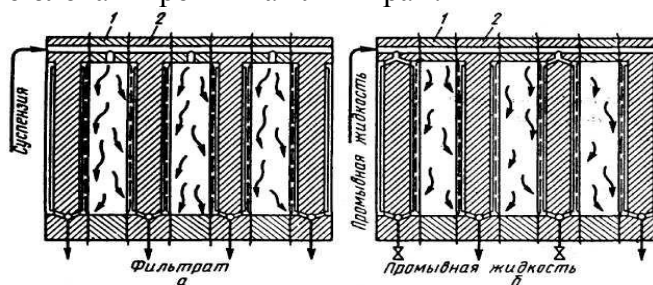


Рисунок 7. – Схема работы фильтр-пресса:

а – фильтрование; б – промывка осадка; 1 – рама; 2 – плита

Фильтр-пресс автоматизированный камерный с механизированной выгрузкой осадка (ФПАКМ) используют для разделения тонкодисперсных суспензий концентрацией 10...500 кг/м<sup>3</sup> при температурах до 80 °С. Является фильтром периодического действия. Он состоит из ряда прямоугольных фильтров (рисунок 8), расположенных вплотную один под другим, благодаря чему возрастает удельная площадь поверхности фильтрования по отношению к площади, занимаемой фильтром.

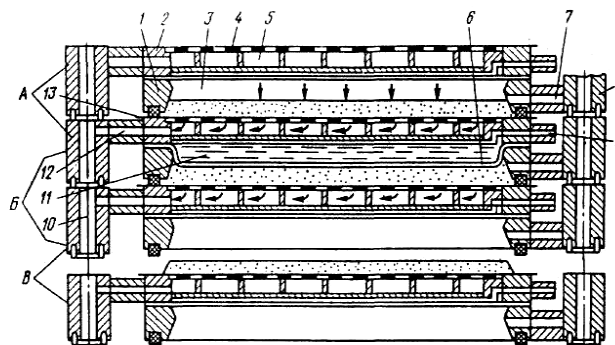


Рисунок 8 – Фильтр-пресс с горизонтальными камерами (ФПАКМ):

1 – нижняя плита; 2 – верхняя плита; 3 – пространство для суспензии и осадка; 4 – перфорированный лист; 5 – пространство для фильтрата; 6 – эластичная диафрагма; 7, 9, 12 – каналы; 8 – коллектор для суспензии; 10 – коллектор для отвода фильтрата; 11 – пространство для воды; 13 – фильтровальная ткань

В положении А в камеру из коллектора 8 последовательно поступают суспензия на разделение, жидкость для промывки и сжатый воздух для подсушки осадка. Фильтрат, промывная жидкость и воздух отводятся по каналам 12 в коллектор 10. В пространстве 11 по каналам 9 подается вода под давлением, которая с помощью водонепроницаемой диафрагмы 6 отжимает осадок (положение Б). Затем плиты раздвигаются и осадок удаляется из фильтра через образовавшиеся щели (положение В).

Барабанные вакуум-фильтры применяют при непрерывном разделении суспензий концентрацией 50...500 кг/м<sup>3</sup>. Твердые частицы могут иметь кристаллическую, волокнистую, аморфную, коллоидальную структуру. Производительность фильтра зависит от структуры твердых частиц и снижается в указанной выше последовательности.

Барабанные вакуум-фильтры (рисунок 9) выпускают с внешней и внутренней фильтрующей поверхностью, которая обтягивается текстильной фильтровальной тканью. Вращающийся горизонтальный перфорированный барабан разделен перегородками на несколько секций одинаковой формы, которые за оборот барабана проходят несколько рабочих зон: фильтрования, обезвоживания, промывки, удаления осадка и регенерации фильтровальной ткани. Устройством, управляющим работой фильтра, является распределительная головка, через которую секции барабана в определенной последовательности подсоединяют к магистралям вакуума, сжатого воздуха и промывной жидкости.

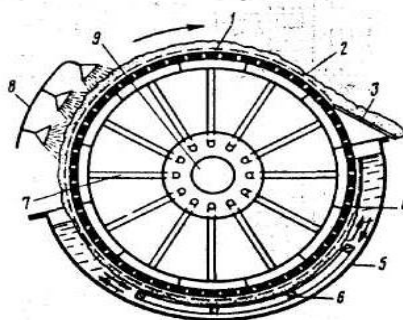


Рисунок 9 – Барабанный вакуум-фильтр с распределительной головкой:  
 1 – перфорированный барабан; 2 – фильтровальная ткань; 3 – ножевое устройство;  
 4 – секция; 5 – корыто; 6 – мешалка; 7 – труба; 8 – разбрызгиватель;  
 9 – распределительная головка

В стадии фильтрования зона фильтра под фильтрующей тканью соединяется с вакуумом и фильтрат, находящийся в корыте, проходит через фильтровальную ткань. Осадок откладывается на ее поверхности. Промытый и подсушенный осадок непрерывно срезается ножом. Чтобы взвешенные частицы не отстаивались, корыто снабжено качающейся мешалкой.

Для извлечения пива и дрожжей из дрожжевой суспензии, образующейся при седиментации в бродильных чанах и танках, применяют барабанный вакуум-фильтр, изображенный на рисунок 10. Фильтровальный элемент состоит из крупноячеистой сетки, на которую накладывается мелкоячеистая сетка. Для улучшения условий фильтрования на мелкоячеистую сетку намывается слой вспомогательного материала — кизельгура либо картофельного крахмала. Пивная или дрожжевая суспензия, подаваемая из бака, при вращении барабана равномерно распределяется по фильтровальной поверхности, а дрожжевой осадок (лепешка) срезается ножом, установленным над баком.

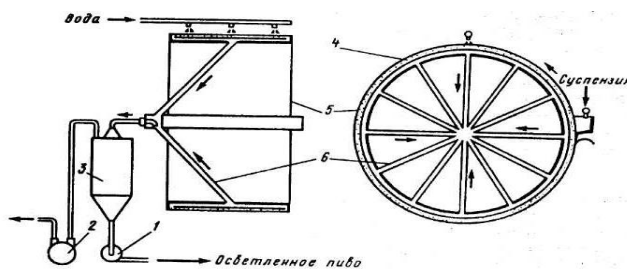


Рисунок 10 – Барабанный вакуум-фильтр:

1 – насос для фильтрата; 2 – вакуум-насос; 3 – пеногаситель; 4 – фильтровальный элемент; 5 – барабан; 6 – труба для фильтрата

Содержание сухих веществ в дрожжевой лепешке достигает 25...28 %.

Обрызгивание подсыхающей лепешки водой способствует увеличению выхода пива примерно на 20 %.

Детали фильтра, находящиеся в контакте с фильтрующей средой, выполнены из нержавеющей стали. Все детали фильтра легко очищаются.

Схема фильтровальной установки с барабанным вакуум-фильтром показана на рисунок 8.9. Суспензия подается в корыто фильтра, где установлена качающаяся мешалка, препятствующая сепарации крупных твердых частиц большой плотности. При погружении 30 % поверхности барабана в суспензию он подключается к вакуум-наосу. Фильтрат и промывная жидкость собираются в сборниках 3, где от них отделяется воздух, поступивший в фильтр во время обезвоживания и промывки осадка, и затем откачиваются насосами.

Дисковые фильтры (рисунок 11) применяют для разделения тонкодисперсных суспензий; они работают под давлением с намывным слоем вспомогательного вещества. Дисковый фильтр представляет собой вертикальную емкость с обогреваемой рубашкой. Внутри фильтра на полый вал 6 насажены дисковые металлические перфорированные фильтровальные элементы 1.5. На диски натягивают полипропиленовую или другую фильтровальную ткань, закрепляемую хомутами. Рабочее давление в фильтре достигает 0,5 МПа, в рубашке – 0,3 МПа.

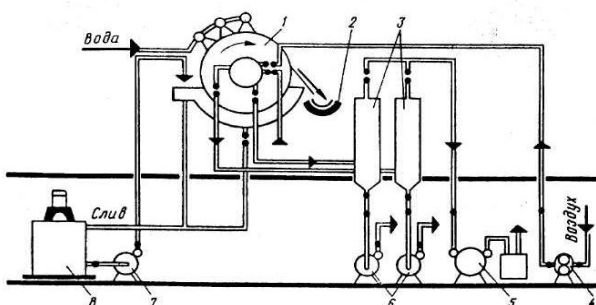


Рисунок 10 – Схема фильтровальной установки:

1 – барабанный вакуум-фильтр; 2 – приемник осадка; 3 – сборники фильтрата и промывной жидкости; 4 – воздуходувка; 5 – вакуум-насос; 6 – насосы для отбора фильтрата и промывной жидкости; 7 – насос для суспензии; 8 – ёмкость для суспензии

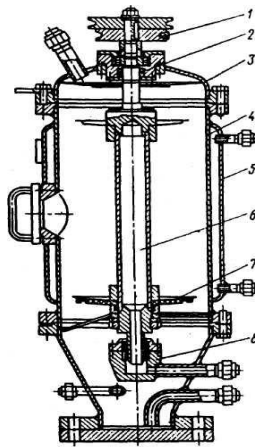


Рисунок 10– Дискový фильтр:

1 – шкив; 2 - сальниковое уплотнение; 3 – крышка; 4 - корпус фильтра; 5 – рубашка; 6 – вал; 7 - фильтровальный элемент; 8 – подпятник

В дисковых фильтрах предусмотрен центробежный сброс подсушенного осадка. Полный вал вместе с фильтровальными дисками приводится во вращение электро- и гидродвигателем. Частота вращения вала достигает  $250 \text{ мин}^{-1}$ . Вал имеет сальниковые тефлоновые уплотнения.

Перед фильтрованием на фильтровальные элементы намывают слой вспомогательного вещества, суспензия которого готовится в суспензаторе. Готовая суспензия прокачивается насосом через фильтровальные элементы до образования намывного слоя толщиной 15...30 мм. Фильтрат из дисков через отверстия в полой валу поступает внутрь вала и выводится из фильтра в суспензатор. Аналогичным образом проводится фильтрование суспензии. После окончания фильтрования осадок промывается обратным током фильтрата и подсушивается воздухом.

Ленточный фильтр (рисунок 11.) состоит из рамы, приводного и натяжного барабанов, между которыми натянута бесконечная перфорированная резиновая лента. Под ней расположены вакуум-камеры, соединенные в нижней части с коллекторами для отвода фильтрата и промывной жидкости. За счет вакуума лента прижимается к верхней части вакуум-камер. К резиновой ленте натяжными роликами 7 прижимается фильтровальная ткань, выполненная также в виде бесконечной ленты.

Суспензия подается на фильтровальную ткань из лотка 5. Фильтрат под вакуумом отсасывается в камеры и отводится через коллектор в сборник. Промывная жидкость подается через форсунки 2 на образовавшийся осадок и отсасывается в камеры, из которых через коллектор 9 отводится в сборник.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Какие методы разделения вы знаете?
  2. Опишите конструкцию пылеуловителей, фильтров, осадителей.

#### Список литературы

##### Основная

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
2. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6

3. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 1 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 704 с. ISBN 978-5-98879-041-9

4. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

Дополнительная

5. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.

6. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

## ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

1. Мембранные процессы. Характеристика мембран.
2. Аппараты для баромембранных процессов. Методика расчета баромембранных процессов

### Описание и принципы мембранных процессов

Мембрана -- открытая неравновесная система, на границах которой поддерживаются различные составы разделяемой смеси под действием извне сил различной природы. Это материал, который создает избирательный барьер между двумя растворами и остается непроницаемым для определенных частиц, молекул или веществ и в то же время не создает помех основному потоку. Некоторым компонентам мембрана позволяет проникнуть с потоком, но другие не проникают и концентрируются в приграничной зоне. Мембраны могут иметь однородную или неоднородную структуру. Мембраны также могут быть классифицированы относительно их диаметра их пор. Согласно Союзу Теоретической и Прикладной Химии они делятся на 3 категории по размеру пор: микропористые ( $d < 2\text{нм}$ ), мезопористые ( $2\text{нм} < d < 50\text{нм}$ ) и макропористые ( $d > 50\text{нм}$ ). Мембраны бывают нейтральными или заряженными, перенос частиц активным или пассивным. Последний может быть инициирован давлением, разницей концентрации, химически или электрически обусловленным градиентом мембранным процессом.

Как правило мембраны делят на 3 группы: неорганические, полимерные и биологические. Эти 3 типа мембран значительно различаются по своей структуре и функциям. Синтетические мембраны производят из множества различных материалов. Они могут изготавливаться из органических и неорганических материалов, включая твердые как металл и керамика, однородных пленок (полимерных), смешанных твердых (полимерных смесей, стекла с примесями) и жидких. Керамические мембраны изготавливают из неорганических материалов, таких как оксид алюминия, карбид кремния и оксид циркония. Керамические мембраны устойчивы к воздействию агрессивных сред (кислот, сильных растворителей). Они устойчивы химически, термически, механически и биологически инертны. Даже если керамические мембраны имеют высокий удельный вес и солидную стоимость, они все таки экологически безвредны и имеют длительный срок эксплуатации. Керамические мембраны в основном имеют цельную форму, состоящую из цилиндрических капилляров.

### Искусственная мембрана. Классификация мембран

Искусственная мембрана обычно представляет собой жесткую селективно-проницаемую перегородку, разделяющую массообменный аппарат на две рабочие зоны, в которых поддерживаются различные давления и составы разделяемой смеси. Синтетические мембраны успешно используются промышленных процессов как малой так и большой мощности с середины 20-го века. В настоящий момент синтетические мембраны достаточно разнообразны по свойствам. Они производятся из органических материалов как полимерных и жидких, так и неорганических. Синтетические мембраны применяемые в разделительных процессах имеют различную геометрию и соответствующую потоку конфигурацию. Мембраны могут быть выполнены в виде плоских листов, труб, капилляров и полых волокон. Мембраны выстраиваются в мембранные системы.

Наиболее распространенные искусственные мембраны - полимерные мембраны. Они разделяются по поверхностному химическому составу, структуре, морфологии и способу изготовления. Химические и физические свойства синтетических мембран и

разделяемые субстанции также как иницирующая сила определяются индивидуальными особенностями мембранного сепарационного процесса. Наиболее часто используемые иницирующие силы в промышленных мембранных процессах - давление и разница концентрации. Соответствующие мембранные процессы называют фильтрацией. При определённых условиях, преимущественно могут быть использованы керамические мембраны.

Некоторые мембраны работают в широком диапазоне мембранных операций, таких, как микрофильтрация, ультрафильтрация, обратный осмос, первапорация, сепарация газа, диализ или хроматография. Способ применения зависит от типа функциональности включенной в мембрану, которые могут быть основаны на изоляции по размеру, химическом родстве или электростатике.

Они также классифицируются по форме и режиму применения. Наиболее известные мембранные процессы включают очистку воды, обратный осмос, обезвоживание природного газа, удаление частиц с помощью микрофильтрации и ультрафильтрации, удаление бактерий из молочных продуктов, диализа, гемодиализа или в качестве компонентов топливных элементов.

Частично проницаемая мембрана -- искусственная мембрана, предназначенная для разделения смеси жидкостей или газов на составляющие компоненты. Также называется избирательно-проницаемой мембраной, полупроницаемой мембраной или дифференциально-проницаемой мембраной. Она позволяет определённым молекулам или ионам проходить через неё благодаря диффузии. Скорость прохождения зависит от давления, концентрации и температуры молекулы или растворённых веществ с обеих сторон, а также проницаемости мембраны для каждого раствора.

Микрофильтрация -- процесс разделения жидких или газовых смесей от взвешенных частиц диаметром 100-0,1 мкм и выше. Фильтрация производится на мелкозернистом материале, песок, кварц и т. д., для грубой фильтрации больших частиц. Процесс проводят в тупиковом режиме с регенерацией обратным током жидкости/газа.

Обратный осмос -- прохождение воды или других растворителей через мембрану из более концентрированного в менее концентрированный раствор в результате воздействия давления, превышающего разницу осмотических давлений обоих растворов. Обратный осмос используется в различных технологиях очистки воды от примесей, в том числе для опреснения воды и очищения питьевой воды для различных целей с начала 1970-х годов.

Первапорация - технология разделения преимущественно жидких смесей различных веществ, при которой поток жидкости, содержащий два или более смешивающихся компонента помещен в контакт с одной стороной непористой полимерной мембраны или молекулярно-пористой неорганической мембраны (типа цеолитной мембраны), в то время как с другой стороны используется вакуумная или газовая продувка. Компоненты жидкого потока абсорбируются в/на мембране, проникают через мембрану, и испаряются в паровую фазу (откуда и образуется слово 'pervaporate'). Образующийся пар, названный 'пермеатом', конденсируется. Вследствие различных видов питающих смесей, имеющие различные сродства к мембране и различные скорости диффузии через мембрану, даже компонент, находящийся в малой концентрации питающей среде, может быть обогащен с высокой степенью в пермеате. Таким образом, состав растворенного вещества может сильно отличаться от того, что находится в виде пара, образующегося после развития свободного равновесия жидкость-пар. Коэффициенты обогащения, степень пермеирования концентрации питающей смеси находятся в диапазоне от единиц до нескольких тысяч, в зависимости от состава, мембраны и условий процесса.

Первапорация отличается относительно низким удельным энергопотреблением по сравнению с мембранными технологиями, использующими пористые мембраны.

Разделение идёт на молекулярном уровне, что повышает избирательность.

Диализ -- освобождение коллоидных растворов и растворов высокомолекулярных веществ от растворённых в них низкомолекулярных соединений при помощи полупроницаемой мембраны. При диализе молекулы растворенного низкомолекулярного вещества проходят через мембрану, а неспособные диализировать (проходить через мембрану) коллоидные частицы остаются за ней. Простейший диализатор представляет собой мешочек из коллодия (полупроницаемого материала), в котором находится диализируемая жидкость. Мешочек погружают в растворитель (например в воду). Постепенно концентрации диализирующего вещества в диализируемой жидкости и в растворителе становятся равными. Меняя растворитель, можно добиться практически полной очистки от нежелательных примесей. Скорость диализа обычно крайне низка (недели). Ускоряют процесс диализа увеличивая площадь мембраны и температуру, непрерывно меняя растворитель. Процесс диализа основан на процессах осмоса и диффузии, что объясняет способы его ускорения.

· Диализ применяют для очистки коллоидных растворов от примесей электролитов и низкомолекулярных неэлектролитов. Диализ применяют в промышленности для очистки различных веществ, например в производстве искусственных волокон, при изготовлении лекарственных веществ.

· Материал, прошедший через мембрану, называется диализат.

Гемодиализ (от гемо... и греч. dialysis -- разложение, отделение) -- метод внепочечного очищения крови при острой и хронической почечной недостаточности. Во время гемодиализа происходит удаление из организма токсических продуктов обмена веществ, нормализация нарушений водного и электролитного балансов. Гемодиализ осуществляют обменным переливанием крови (одновременное массивное кровопускание с переливанием такого же количества донорской крови), обмыванием брюшины солевым раствором (перитонеальный диализ), промыванием слизистой оболочки кишечника умеренно гипертоническими растворами (кишечный диализ). Наиболее эффективным методом гемодиализа является применение аппарата искусственная почка.

Хроматография (от греч. χσυμβ - цвет) -- метод разделения и анализа смесей веществ, а также изучения физико-химических свойств веществ. Основан на распределении веществ между двумя фазами -- неподвижной и подвижной (элюент). Название метода связано с первыми экспериментами по хроматографии, в ходе которых разработчик метода Михаил Цвет разделял ярко окрашенные растительные пигменты.

Жидкие мембраны относятся к классу синтетических мембран, изготовленных из эластичных материалов. Некоторые типы жидких мембран применяются в промышленности: эмульсионные мембраны, задерживающие мембраны, расплавы солей, мембраны из холофайбера. Жидкие мембраны были достаточно изучены, но имеют ограниченное применение в промышленности.

Полимерные мембраны возглавляют рынок в промышленной сепарации, потому что достаточно конкурентоспособны по эксплуатационным и экономическим параметрам. Многие полимеры доступны в качестве материала для них, но выбрать полимер для определенной цели зачастую оказывается сложно. Полимер должен иметь соответствующие характеристики для назначенной задачи. Полимер зачастую должен иметь высокую устойчивость к отделяемым молекулам (особенно в биотехнологическом применении) и удовлетворять жестким условиям очистки. Он должен быть совместим с технологическим процессом изготовления мембраны.

Полимер должен быть пригодным к разработке мембраны по таким параметрам как устойчивость и взаимодействие полимерных связей, пространственная однородность, полярность полимерных связей и его функциональная группа. Полимеры могут быть аморфными и полукристаллическими по структуре (также иметь различную температуру плавления), влияющие на параметры применения мембраны. Также немаловажными являются доступность и адекватная стоимость для формирования критерия низкой стоимости мембранного процесса. Многие мембранные полимеры дополняются



примесями, модифицируются или добавляются как примесь для улучшения их параметров. В синтезе мембран наиболее распространены ацетат целлюлозы, нитраты и сложные эфиры (CA, CN и CE), полисульфон (PS), полиэстер сульфон (PES), полиакрилонитрил (PAN), полиамид, полиимид, полиэтилен и полипропилен (PE и PP), политетрафлюорэтилен (PTFE), поливинилоэденхлорид (PVDF), поливинилхлорид (PVC)

Полиэтилен (PE) политетрафлюорэтилен (PTFE) полипропилен (PP)

Морфология мембран

Синтетические мембраны можно также охарактеризовать относительно их структуры (морфологии). Три основных типа синтетических мембран широко применяются в промышленной сепарации: плотные мембраны, пористые мембраны и ассиметричные мембраны. Плотные и пористые мембраны разделяются по размерам отделяемых молекул, имея общую базу. Плотная мембрана обычно это толстый слой плотного материала применяемый для фильтрации малых молекул (обычно в жидком или газообразном состоянии). Плотные мембраны широко применяют в промышленности для сепарации газа процесса обратного осмоса.

Плотные мембраны синтезируют как аморфные или неоднородные структуры. Полимерные плотные мембраны такие как политетрафлюорэтилен и сложные эфиры целлюлозы обычно изготавливают компрессионным литьем, растворением и напылением раствора полимера. Структура полимерной мембраны может быть эластичной или твердой в зависимости от температурного диапазона. Пористые мембраны востребованы на отделении больших молекул как коллоидные частицы, большие биомолекулы (протеины, ДНК, РНК) и элементов фильтруемого состава. Пористые мембраны нашли применение в микрофильтрации, ультрафильтрации и операциях диализа. Есть некоторые разногласия в определении «мембранный капилляр». Наиболее распространенная теория основывается на цилиндрических порах для простоты вычислений. Эта модель подразумевает, что поры имеют форму параллельных непересекающихся цилиндрических капилляров. Но в реальности типичные поры - случайная сеть бессистемных по расположению и форме структур разных размеров. Формирование поры происходит заменой хорошего растворителя на слабый в растворе полимера. Другие виды капилляров изготавливают растягиванием кристаллической структуры полимера. Структура пористой мембраны зависит от базового полимера, растворителя, концентрации компонентов, молекулярного веса, температуры и времени пребывания в растворе. Наиболее толстые пористые мембраны иногда можно отнести к наиболее тонким плотным мембранам, сформировав ассиметричную мембранную структуру. Последние обычно изготавливают склеиванием плотных и пористых мембран.

Геометрия с разделяемым потоком Геометрия с задержкой потока

Две главных конфигурации потока в мембранных процессах: фильтрация с отсечением и задержкой потока. В фильтрации с отсечением потока питающий поток направлен по касательной к поверхности мембраны, задержанный поток удаляется с другой стороны, тогда как проникший поток проникает на внешнюю сторону. В фильтрации с задержкой частиц движение жидкости перпендикулярно к поверхности мембраны. Обе конфигурации имеют свои преимущества и недостатки. Задерживающие мембраны значительно проще в изготовлении, что снижает стоимость процесса сепарации. Также этот процесс легче реализовать и он обычно дешевле, чем фильтрация с отсечением потока. Задерживающая фильтрация в основном серийный процесс, где фильтруемый состав загружается (медленно поступает) в мембранное устройство, которое затем позволяет выделить некоторые составляющие при наличии движущей силы. Главный недостаток этих мембран - сильное засорение и поляризация концентрации. Засорение обычно происходит быстрее при большей силе воздействия. Засорение мембраны и удерживание частиц в поступающей жидкости в частности приводит к возникновению градиента концентрации обратному движению частиц (поляризации

концентрации). Устройства с касательным потоком имеют более высокую стоимость и сложны в разработке, но они менее подвержены засорению из-за эффекта смывания и высоких сдвигающих сил проходящего потока.

#### Мембранные разделительные процессы

Процессы мембранной сепарации сделали огромный вклад в промышленную сепарацию. Тем не менее, они не воспринимались всерьез до середины 70-х годов XX века. Мембранные процессы классифицируют, основываясь на механизме сепарации и размерах отделяемых частиц. Широко используемые мембранные процессы включают микрофильтрацию, ультрафильтрацию, нанофильтрацию, обратный осмос, электролиз, диализ, электродиализ, газоразделение, паропроницаемость, первапоровацию, мембранную дистилляцию и мембранные контакторы. Все процессы за исключением первапороваания не вызывают изменение агрегатного состояния. Все процессы, исключая (электро)диализ, инициируются давлением. Микрофильтрация и ультрафильтрация широко применяются в пищевой промышленности (микрофильтрация пива, ультрафильтрация яблочного сока), биотехнологических разработках, фармацевтической индустрии (изготовление антибиотиков, ректификация белков), очистке воды и сточных вод, микроэлектронной индустрии и прочих. Нанофильтрация и обратный осмос главным образом используют для водоочистительных нужд. Плотные мембраны используют для сепарации газов (удаление  $\text{CO}_2$  из природного газа, удаление азота из воздуха, удаление органических паров из воздуха или азота) и иногда в мембранной дистилляции. Позже процесс помог в сепарации азеотропных составов, снизив стоимость процессов дистилляции.

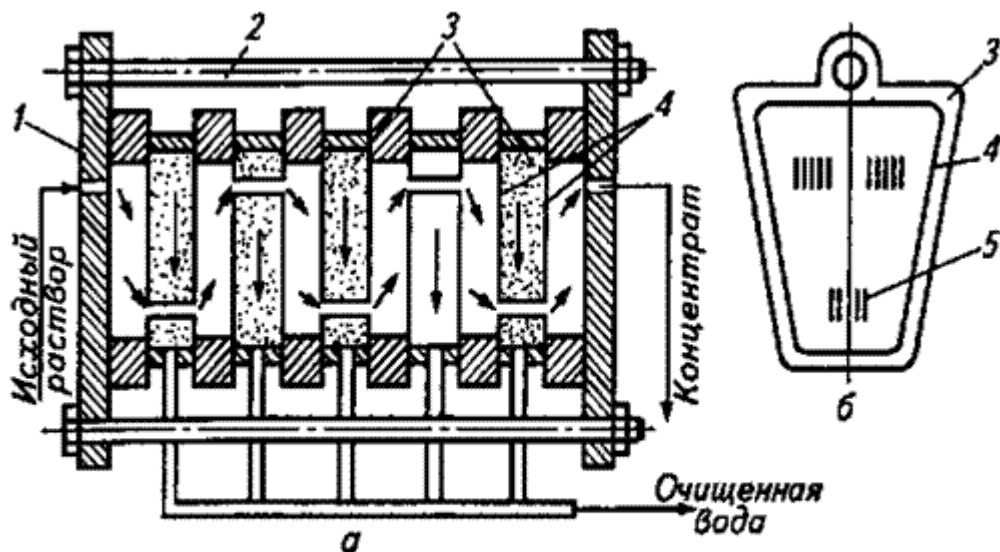
## 2 Аппараты для баромембранных процессов. Методика расчета баромембранных процессов

Аппараты для обратного осмоса и ультрафильтрации бывают периодического и непрерывного действия. Аппараты периодического действия применяют, как правило, только в лабораторной практике. В промышленности работают проточные аппараты непрерывного действия.

Мембранные аппараты имеют большую удельную площадь поверхности разделения, просты в сборке и монтаже, надежны в работе. Перепад давления в аппаратах небольшой.

Недостатком аппаратов для обратного осмоса является высокое рабочее давление, что приводит к необходимости использования специальных уплотнений трубопроводов и арматуры, рассчитанных на высокое давление.

По способу расположения мембран аппараты делятся на аппараты типа «фильтр-пресс» с плоскокамерными фильтрующими элементами, аппараты с цилиндрическими и рулонными элементами и аппараты с мембранами в виде полых волокон.



**Рис. 6. Мембранный фильтр-пресс (а) и «подложка» (б):**  
 1 — плита; 2 — стальной болт; 3 — «подложка»; 4 — мембрана; 5 — отверстие

Аппарат типа «фильтр-пресс» по конструкции напоминает фильтр для обычного фильтрования.

Основа этой конструкции (рисунок 13) — фильтрующий элемент, состоящий из двух мембран, уложенных по обе стороны листов «подложки», изготовленных из пористого материала, например полимерного. Листы «подложки» имеют отверстия для прохода жидкости и расположены на расстоянии 0,5...5 мм друг от друга, образуя межмембранное пространство для разделяемого раствора. Пакет фильтрующих элементов зажимается между двумя плитами и стягивается болтами. Фильтруемый раствор последовательно проходит через все фильтрующие элементы и концентрируется. Концентрат и фильтрат непрерывно удаляются из аппарата.

Аппараты подобного типа применяют в установках для выделения белков из подсырной сыворотки, а также для ультрафильтрации обезжиренного молока и творожной сыворотки.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Какие мембраны вы знаете?
2. Что такое осмос?
3. Что такое обратный осмос?
4. Какие аппараты для ведения мембранных процессов вы знаете?

#### Список литературы

##### Основная

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
2. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6
3. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 1 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 704 с. ISBN 978-5-98879-041-9

4. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

Дополнительная

7. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.

8. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

## ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

1. Мокрое обеспыливание и флотация.
2. Аппаратурное оформление процесса

**Флота́ция** (фр. *Flottation*, от *flotter* — плавать) — один из методов обогащения полезных ископаемых, который основан на различии способности минералов удерживаться на межфазовой поверхности, обусловленный различием в удельных поверхностных энергиях. Гидрофобные (плохо смачиваемые водой) частицы минералов избирательно закрепляются на границе раздела фаз, обычно газа и воды, и отделяются от гидрофильных (хорошо смачиваемых водой) частиц. При флотации пузырьки газа или капли масла прилипают к плохо смачиваемым водой частицам и поднимают их к поверхности. Флотация применяется также для очистки воды от органических веществ и твёрдых взвесей, разделения смесей, ускорения отстаивания в химической, нефтеперерабатывающей, пищевой и др. Отраслях промышленности.

В развитии теории флотации сыграли важную роль работы рус. Физикохимиков— И. С. Громека, впервые сформулировавшего в конце XIX века основные положения процесса смачивания, и Л. Г. Гурвича, разработавшего в начале XX века положения о гидрофобности и гидрофильности. Существенное влияние на развитие современной теории флотации оказали труды А. Годена, А. Таггарта (США), И. Уорка (Австралия), советских учёных П. А. Ребиндера, А. Н. Фрумкина, И. Н. Плаксина, Б. В. Дерягина, профессора В. Р. Кривошеина и других.

В зависимости от характера и способа образования межфазных границ (вода — масло — газ), на которых происходит закрепление разделяемых компонентов (см. Поверхностно-активные вещества) различают несколько видов флотации.

- **Масляная** флотация была предложена первой, на которую В. Хайнсу (Великобритания) в 1860 году был выдан патент № 488<sup>[1]</sup>. При перемешивании измельченной руды с маслом и водой сульфидные минералы избирательно смачиваются маслом и всплывают вместе с ним на поверхность воды, а порода (кварц, полевые шпаты) осаждается. В Российской империи масляная флотация графита была осуществлена в 1904 году в Мариуполе.

- **Пленочная.** Способность гидрофобных минеральных частиц удерживаться на поверхности воды, в то время как гидрофильные тонут в ней, была использована А. Нибелиусом (США, 1892) и Маквистеном (Великобритания, 1904) для создания аппаратов плёночной флотации, в процессе которой из тонкого слоя измельченной руды, находящегося на поверхности потока воды, выпадают гидрофильные частицы.

- **Пенная** — при которой через смесь частиц с водой пропускают мелкие пузырьки воздуха, частицы определённых минералов собираются на поверхности раздела фаз «воздух-жидкость», прилипают к пузырькам воздуха и выносятся с ними на поверхность в составе трехфазной пены (с добавлением пенообразователя, который регулирует устойчивость пены). Пену в дальнейшем сгущают и фильтруют. В качестве жидкости чаще всего используется вода, реже насыщенные растворы солей (разделение солей, входящих в состав калийных руд) или расплавы (обогащение серы).

Для образования пузырьков предлагались различные методы: образование углекислого газа за счёт химической реакции (С. Поттер, США, 1902), выделение газа из раствора при понижении давления (Ф. Элмор, Великобритания, 1906) — вакуумная флотация, энергичное перемешивание пульпы, пропускание воздуха сквозь мелкие отверстия.

Для проведения пенной флотации производят измельчение руды до крупности 0,5-1,0 мм в случае природногидрофобных неметаллических полезных ископаемых с

небольшой плотностью (сера, уголь, тальк) и до 0,1-0,2 мм для руд металлов. Для создания и усиления разницы в гидратированности разделяемых минералов и придания пене достаточной устойчивости к пульпе добавляются флотационные реагенты. Затем пульпа поступает во флотационные машины. Образование флотационных агрегатов (частиц и пузырьков воздуха) происходит при столкновении минералов с пузырьками воздуха, вводимого в пульпу, а также при возникновении на частицах пузырьков газов, выделяющихся из раствора. На флотацию влияют ионный состав жидкой фазы пульпы, растворённые в ней газы (особенно кислород), температура, плотность пульпы. На основе изучения минералого-петрографического состава обогащаемого полезного ископаемого выбирают схему флотации, реагентный режим и степень измельчения, которые обеспечивают достаточно полное разделение минералов. Лучше всего флотацией разделяются зёрна размером 0,1-0,04 мм. Более мелкие частицы разделяются хуже, а частицы мельче 5 мкм ухудшают флотацию более крупных частиц. Отрицательное действие частиц микронных размеров уменьшается специфическими реагентами. Крупные (1-3 мм) частицы при флотации отрываются от пузырьков и не флотируются. Поэтому для флотации крупных частиц (0,5-5 мм) в СССР были разработаны способы пенной сепарации, при которых пульпа подаётся на слой пены, удерживающей только гидрофобизированные частицы. С той же целью созданы флотационные машины кипящего слоя с восходящими потоками аэрированной жидкости.

Пенная флотация — гораздо более производительный процесс, чем масляная и плёночная флотации. Этот метод применяется наиболее широко.

- **Электрофлотация** — перспективный метод для применения в химической промышленности, заключается во всплытии на поверхности жидкости дисперсных загрязнений за счет выделения электролитических газов и флотационного эффекта.

Для очистки воды, а также извлечения компонентов из разбавленных растворов в 1950-х годах был разработан метод ионной флотации, перспективный для переработки промышленных стоков, минерализованных подземных термальных и шахтных вод, а также морской воды. При ионной флотации отдельные ионы, молекулы, тонкодисперсные осадки и коллоидные частицы взаимодействуют с флотационными реагентами-собирателями, чаще всего катионного типа, и извлекаются пузырьками в пену или плёнку на поверхности раствора. Тонкодисперсные пузырьки для флотации из растворов получают также при электролитическом разложении воды с образованием газообразных кислорода и водорода (электрофлотация). При электрофлотации расход реагентов существенно меньше, а в некоторых случаях они не требуются.

Широкое использование флотации для обогащения полезных ископаемых привело к созданию различных конструкций флотационных машин с камерами большого размера (до 10-30 м<sup>3</sup>), обладающих высокой производительностью. Флотационная машина состоит из ряда последовательно расположенных камер с приёмными и разгрузочными устройствами для пульпы. Каждая камера снабжена аэрирующим устройством и пеносъёмником.

#### Флотационные установки для водоочистки

Флотационные установки, применяемые в технологии водоочистки, являются достаточно сложными аппаратами и служат для разделения двух- и трехфазных систем. Конструктивные приемы, используемые при создании флотационных установок, весьма разнообразны и зависят главным образом от конкретных условий применения каждого аппарата.

По технологическому назначению различают флотационные установки для очистки природных и очистки сточных вод — городских и производственных различного состава. Кроме того, флотационные установки используют для разделения иловых смесей в схемах биологической очистки сточных вод и уплотнения осадков, образующихся в результате водоочистки.

По способу газонасыщения флотационные установки подразделяют на установки для напорной, электрической, импеллерной, пневматической, вакуумной, безнапорной, химической и биологической флотации. Пневматические флотационные установки подразделяются на аппараты для флотации пузырьками, диспергированными мелкопористыми пластинами, и аппараты, в которых флотация осуществляется пузырьками, диспергированными соплами.

По крупности пузырьков, образующихся в процессе газонасыщения, различают установки для флотации мелкими пузырьками (до 200 мкм), флотации пузырьками средней крупности (200—800 мкм) и флотации крупными пузырьками (более 800 мкм). К первым относятся флотационные установки для напорной, электрической и химической флотации.

Пузырьки средней крупности образуются при диспергировании их мелкопористыми пластинами, а также в аппаратах для вакуумной и безнапорной флотации. Флотация крупными пузырьками осуществляется в импеллерных машинах и пневматических флотационных установках при диспергировании пузырьков соплами.

Все существующие флотационные установки подразделяются на аппараты, в которых степень газонасыщения очищаемой воды ограничена каким-либо свойством газожидкостной системы, например растворимостью воздуха при напорной и вакуумной флотации, концентрацией реагентов при химической флотации, коалесценцией пузырьков при безнапорной флотации, и аппараты, позволяющие неограниченно во времени насыщать жидкость пузырьками — это аппараты для электрической, пневматической и импеллерной флотации.

#### Современные флотационные установки

Современные флотационные установки выполняют одно- или двухкамерными, одноступенчатыми или многоступенчатыми. В однокамерных аппаратах образование флотокомплексов происходит в том же объеме, что и разделение фаз. Эти конструкции наиболее эффективны при флотации крупными пузырьками, когда всплывание флотокомплексов происходит со скоростью, соизмеримой со скоростью элементарного акта флотации.

При флотации мелкими пузырьками более прогрессивной является двухкамерная конструкция. В первой камере создаются условия для эффективного взаимодействия пузырьков и частиц примесей, во второй обеспечивается благоприятная гидродинамическая обстановка, способствующая эффективному завершению процесса флотационного разделения и накопления пенного продукта.

В настоящее время двухкамерные флотационные установки применяют преимущественно для напорной и электрической флотации. При последовательном расположении нескольких одно- или двухкамерных аппаратов получают флотационные установки для многоступенчатой очистки воды. Характерным при этом является то, что в каждой последующей ступени очищается вода с меньшей концентрацией частиц, чем в предыдущей. Обычно число ступеней не превышает трех.

Существенное влияние на эффективность флотационной водоочистки оказывает направление движения жидкости в флотационной установке. Созданы аппараты с вертикальным, горизонтальным и угловым направлением движения потока. В вертикальных флотационных установках жидкость движется вверх (восходящий поток), увлекая флотокомплексы, или вниз (нисходящий поток), замедляя их всплывание.

В горизонтальных аппаратах движение жидкости может быть прямоочным, или тангенциальным; в флотационных установках с угловым направлением движения жидкости перемещение потока по отношению к направлению движения пенного продукта может быть прямоочным, противоточным или перекрестным. Наиболее совершенными, являются конструкции с угловым направлением движения жидкости,

наименее эффективными — с вертикальным, особенно при флотации мелкими пузырьками.

#### Эффективность флотации

В большинстве современных флотационных установок жидкость независимо от направления движется с постоянной скоростью, хотя весьма перспективными являются аппараты с переменной скоростью перемещения потока. При этом скорость может изменяться непрерывно или ступенчато за счет увеличения (уменьшения) сечения аппарата или расхода в направлении движения жидкости.

Эффективность флотации в значительной мере зависит от конструкции системы ввода очищаемой и отвода очищенной воды. Эти системы могут быть сосредоточенными, рассредоточенными и распределенными; неподвижными или вращающимися.

Источник пузырьков в флотационной установке может быть сосредоточенным или рассредоточенным по высоте. Примером установок с рассредоточенным по высоте источником пузырьков являются электрофлотационные аппараты с вертикальными электродами.

Современные флотационные установки имеют развитую или уменьшенную поверхность пенообразования. В последнем случае достигается более высокая степень концентрирования пенного продукта. Съем его с поверхности флотационной установки осуществляется, как правило, принудительно при помощи механизмов периодического или непрерывного действия. Известны аппараты с самопроизвольным удалением пены по мере ее накопления на поверхности.

Флотационные установки в горизонтальном сечении выполняются прямоугольными, квадратными или круглыми, в вертикальном они могут быть плоскими или развитыми по вертикали.

Многие современные флотационные установки имеют дополнительные элементы различного назначения, в частности, элементы, улучшающие гидродинамику аппарата, и элементы, обеспечивающие предварительную реагентную или безреагентную обработку очищаемой воды.

#### Технологические схемы напорной флотации

Технологические схемы напорной флотации. В технологии водоочистки наиболее широкое распространение получила напорная флотация. Очистка пузырьками, выделяющимися из пересыщенной газом жидкости, осуществляется по четырем апробированным на практике схемам. Эффективность той или иной схемы зависит от свойств и концентрации примесей в воде.

Дисперсность пузырьков, образующихся в эжекторе, зависит от количества подсосываемого воздуха и поверхностного натяжения на границе жидкость—газ. При расходе эжектируемого воздуха 2,6 % от расхода воды крупность пузырьков составляет 50—1000 мкм, при снижении расхода до 0,57 % размер их уменьшается до 50—500 мкм. Более тонкое дробление пузырьков достигается дополнительным их диспергированием известными приемами.

Схемы насыщения жидкости газом при напорной флотации. В технологии флотационной очистки наибольшее распространение получило принудительное насыщение жидкости воздухом.

Получение пузырьков из жидкости, пересыщенной газом, в природных условиях или в других технологических процессах встречается гораздо реже.

Принудительное газонасыщение осуществляется преимущественно с использованием сатуратора. Растворяемый воздух вводится в жидкость перед сатуратором или непосредственно в него. Воздух в жидкость либо подсосывается, либо подается под давлением. Существуют комбинированные схемы введения воздуха. Общим недостатком всех схем является сильное диспергирование в перекачивающем насосе способных к дроблению частиц.



Использование для газонасыщения рециркулирующей жидкости не предотвращает дробления частиц при необходимости перекачки очищаемой воды во флотационный аппарат. Поэтому более рациональными являются схемы, позволяющие одновременно вводить в очищаемую воду воздух и подавать ее на очистку при минимальной степени диспергирования примесей.

#### Технология электрической флотации

Технология электрической флотации. Электрофлотация (ЭФ) — один из наиболее интенсивно развиваемых процессов разделения веществ в водоочистке. Перспективность ЭФ связана с образованием при электролизе воды высокодисперсных пузырьков газа, что позволяет извлекать гидрофильные частицы без применения реагентов — собирателей.

Крупность пузырьков, выделяющихся в результате электролиза, зависит от условий их получения и составляет 0,015—0,2 мм, т. е. Размеры практически не отличаются от размеров пузырьков, выделяющихся из пересыщенной жидкости.

Существенным преимуществом ЭФ перед напорной флотацией является возможность неограниченного насыщения очищаемой жидкости пузырьками, а также простота осуществления процесса газонасыщения, что допускает (в отличие от напорной флотации) частые перерывы в этом процессе. Более того, возможность чередования периодов газонасыщения и пауз позволяет интенсифицировать флотационное извлечение примесей в условиях усиленного насыщения воды пузырьками газа в результате их порционной, или импульсной, подачи в жидкость.

Особенности, присущие ЭФ, значительно расширяют область ее применения. Возможность неограниченного газонасыщения воды пузырьками высокой дисперсности позволяет использовать ЭФ для извлечения мелких частиц, а простота процесса газонасыщения обеспечивает ей существенные преимущества перед другими видами флотации при очистке малых количеств загрязненных вод.

Дополнительные преимущества возникают при использовании электрокоагуляции-флотации (ЭК-Ф), позволяющей одновременно осуществлять два процесса: изменение дисперсного состояния примесей в результате их коагуляции под действием электрического тока, ионов растворяющегося металла электродов или других продуктов электрохимических реакций в объеме электролита и закрепление пузырьков электролитического газа на поверхности скоагулированных частиц, что обеспечивает их последующую флотацию.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое флотация?
2. Назовите установки для флотации?
3. Что такое электрофлотация?

#### Список литературы

##### Основная

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с. - ISBN 978-5-9532-0509-2
2. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6
3. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 1 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 704 с. ISBN 978-5-98879-041-9
4. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

##### Дополнительная

9. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.
10. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

## ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

### Вопросы.

1. Классификация и основные закономерности тепловых процессов.
2. Процессы замораживания и размораживания.
3. Специфические тепловые процессы. Интенсификация тепловых процессов.

1. Под тепловыми процессами и тепловой обработкой понимают нагревание и охлаждение сырья, продуктов, вспомогательных материалов и средств. Можно выделить несколько простых, но широко распространенных на практике тепловых процессов:

- адиабатный – происходящий без теплообмена с окружающей средой;
- изохорный – происходящий при постоянном объеме;
- изобарный – происходящий при постоянном давлении;
- изотермический – происходящий при постоянной температуре;
- изоэнтروпийный – при постоянной энтропии;
- изоэнтальпийный – при постоянной энтальпии;
- политропный – при постоянной теплоемкости.

Теплообмен представляет собой перенос энергии в форме теплоты, происходящей между телами, температура которых различна, т.е. теплообменом называется самопроизвольный необратимый процесс переноса теплоты в пространстве с неоднородным температурным полем.

Теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твердую стенку называется теплопередачей.

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

Температурное поле – это совокупность значений температур во всех точках пространства в данный момент времени. Если в температурном поле температура является постоянной, поле наз. стационарным, если не постоянным, то нестационарным.

Геометрическое место точек температурного поля с одинаковой температурой называется изотермической поверхностью. Температура изменяется по нормали к изотермической поверхности, причем  $t_2 < t_1$ .

Предел отношения изменения температуры к расстоянию ( $\Delta n$ ) между изотермическими поверхностями по нормали называется температурным градиентом.

$$\text{grad } t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n} \quad (9.1)$$

Связь между количеством передаваемой теплоты и площадью поверхности теплообмена определяется *основным уравнением теплопередачи*

$$dQ = KF \Delta t_{cp} d\tau, \quad (9.2)$$

которое для установившегося процесса имеет вид

$$Q = KF \Delta t_{cp}, \quad (9.3)$$

Известны три способа передачи теплоты – теплопроводность, конвекция и тепловое излучение.

Основной закон теплопроводности, установленный Фурье, гласит, что количество теплоты  $dQ$ , переданное теплопроводностью, пропорционально градиенту температуры  $\partial t / \partial n$ , времени  $d\tau$  и площади сечения  $dF$ , перпендикулярного направлению теплового потока.

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} F d\tau, \quad (9.4)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности среды, Вт/(м·К).

Основной закон теплоотдачи – закон Ньютона гласит, что количество теплоты  $dQ$ , переданное от поверхности теплообмена к потоку жидкости (газа) или от потока к поверхности теплообмена, прямо пропорционально площади поверхности теплообмена  $F$ , разности температур поверхности  $t_{ct}$  и ядра потока  $t_f$  (или наоборот) и продолжительности процесса  $d\tau$ .

$$\begin{aligned} dQ &= \alpha (t_{ct} - t_f) F d\tau, \\ dQ &= \alpha (t_f - t_{ct}) F d\tau. \end{aligned} \quad (9.5)$$

**ОХЛАЖДЕНИЕ** – процесс понижения температуры материалов путем отвода от них теплоты. Для охлаждения газов, паров и жидкостей до 15–20 °С в пищевой технологии используют воду и воздух. Для охлаждения продуктов до низких температур используют низкотемпературные хладагенты – холодильные рассолы, фреоны, аммиак, диоксид серы, жидкий азот.

Охлаждение водой осуществляется в теплообменниках, в которых теплоносители разделены стенкой, либо обмениваются теплотой при смешивании. Например, газы охлаждают разбрызгиванием в них воды. Для охлаждения применяется обычная вода с температурой 15–20 °С либо артезианская температурой 8–12 °С. Часто для охлаждения используют оборотную воду, охлажденную за счёт её испарения в градирнях.

Охлаждение льдом применяется для охлаждения ряда продуктов, например, мороженого, до температуры, близкой к нулю. Лёд нагревается до 0°С и плавится, отнимая теплоту от охлаждаемого продукта.

Охлаждение воздухом проводится естественным и искусственным способами:

А) При естественном охлаждении горячий продукт охлаждается за счёт потери теплоты в окружающее пространство. Наиболее эффективно естественное охлаждение в зимнее время при низкой температуре воздуха.

Б) Искусственное охлаждение воздухом применяется для охлаждения воды в градирнях, в которых охлаждаемая вода стекает сверху вниз навстречу подаваемому снизу воздуху. При этом охлаждение воздуха происходит не только за счёт теплообмена, но в значительной степени за счёт испарения части жидкости.

Рассмотрим охлаждение водой.

Для процесса представляется важным определение количества затраченной воды. Ее определяют из уравнения теплового баланса.

Если обозначить  $G$  – количество продукта,  $W$  – количество затраченной воды,  $C_n$  и  $C_b$  - теплоемкость продукта и воды,  $(t_n^н - t_k^н)$  и  $(t_n^б - t_k^б)$  - начальная и конечная температуры продукта и воды, то можно записать:

$$GC_n t_n^н + WC_b t_n^б = GC_n t_k^н + WC_b t_k^б + Q_n, \quad (11.1)$$

где  $Q_n$  - потери тепла, принимается  $\approx$  до 20%.

Выражаем из этого уравнения  $W$ :

$$W = \frac{GC_n (t_n^н - t_k^н) + Q_n}{C_b (t_n^б - t_k^б)}, \quad (11.2)$$

Рассмотрим охлаждение воздухом.

Проводится естественным и искусственным способами. При естественном охлаждении горячий продукт охлаждается за счет потерь теплоты в окружающее пространство.

Искусственное охлаждение применяется (н-р) для охлаждения воды в градирнях, в которых охлаждаемая вода стекает вниз, навстречу подаваемому снизу воздуху.

**НАГРЕВАНИЕ** – процесс повышения температуры материалов путем подвода к ним теплоты. Широко распространёнными методами нагревания в пищевой технологии являются:

1. Нагревание горячей водой применяется для нагревания и пастеризации пищевых продуктов при температурах ниже 100°C. Для нагревания до температур выше 100°C применяют воду, находящуюся под избыточным давлением. Она имеет высокую теплоёмкость, некоррозионноактивна. Обычно обогрев ведут через разделяющую теплоноситель и продукт стенку аппарата. При нагревании горячей водой или другими жидкими теплоносителями, например, маслом или другими органическими теплоносителями, часто применяются циркуляционный способ обогрева.

а. По этому способу горячая вода циркулирует между нагревателем и теплообменником, в котором он отдаёт теплоту. Циркуляция может быть естественной или принудительной. Естественная циркуляция происходит за счёт разности плотностей горячего и холодного теплоносителей.

Для обогрева теплиц при выращивании огурцов, томатов и др. овощей используется горячая вода, отходящая от заводских теплоиспользующих установок.

б. Обогрев с помощью обогревательных бань представляющих собой аппараты с рубашками. Рубашки нагреваются топочными газами, с помощью электрообогрева или насыщенным водяным паром высокого давления, подаваемым в змеевик.

Из высококипящих органических жидкостей для создания высоких температур применяют минеральные масла (до 250-300°C), тетрахлордифенил (до 300°C), глицерин, кремнийорганические соединения и др.

2. Нагревание насыщенным водяным паром получило широкое распространение. При этом применяют два способа:

- а. Нагревание «глухим» насыщенным паром;
- б. Нагревание «острым» насыщенным паром.

При нагревании «глухим» насыщенным паром теплота от конденсирующегося насыщенного водяного пара к нагреваемому теплоносителю передаётся через разделяющую стенку. Греющий «глухой» пар конденсируется и выводится из парового пространства теплообменника в виде конденсата. При этом температура конденсата принимается равной температуре насыщенного водяного пара. Расход греющего пара определяется из теплового баланса в кг/ч:

$$Gc t_n + Di'' = Gc t_k + Di' + Q_n, \quad (11.3)$$

$$D = \frac{Gc(t_k - t_n) + Q_n}{i'' - i'}, \quad (11.4)$$

где  $G$  и  $D$  – расход жидкости и пара, кг/ч;  $i''$  и  $i'$  – энтальпия греющего пара и конденсата, кДж/кг.

При нагревании «острым» насыщенным паром водяной пар вводится через барботёр. Нагревание «острым» насыщенным паром применяется в тех случаях, когда допустимо разбавление нагреваемой среды водой.

Расход «острого» пара определяют из уравнения теплового баланса:

$$Gc t_n + Di'' = Gc t_k + DCt_k + Q_n, \quad (11.5)$$

$$D = \frac{Gc(t_k - t_n) + Q_n}{i'' - Ct_k}, \quad (11.6)$$

3. Нагревание топочными газами, образующимися при сжигании топлива в специальных печах, например, для обогрева сушилок.

4. Нагревание электрическим током осуществляется в электрических печах сопротивления прямого и косвенного действия.

В печах прямого действия тело нагревается при прохождении через него электрического тока. Нагревание ТВЧ основано на том, что при воздействии на диэлектрик переменного электрического тока молекулы диэлектрика приходят в колебательные движения, при этом часть энергии затрачивается на преодоление трения между молекулами диэлектрика и превращается в теплоту, нагревая тело. Достоинством диэлектрического нагревания являются:

- непосредственные выделения теплоты в нагреваемом теле;
- равномерный быстрый нагрев всей массы материала до требуемой температуры;
- простота регулирования процесса.

В печах косвенного действия теплота выделяется при прохождении электрического тока по нагревательным элементам. Выделяющаяся при этом теплота передаётся материалу тепловым излучением, теплопроводностью и конвекцией.

Для нагревания пищевых продуктов применяется два типа электронагрева: прямой и косвенный.

При прямом нагреве нагреваемый продукт включается последовательно непосредственно в электрическую цепь. Односторонность температурного поля является важным преимуществом электроконтактного метода. Для предотвращения нежелательных явлений электролиза используется переменный ток промышленной частоты. Электроконтактной нагрев используется для размораживания полуфабрикатов, для нагрева водно-мучных смесей и выпечки бескорновых изделий.

Для обработки плодов, ягод и овощей перед прессованием применяется электроплазмолиз. Процесс осуществляется в установках, в которых в зазор между вращающимися валками-электродами пропускают продукт. При этом с помощью тока разрушаются клетки продукта, что улучшает выделение сока при прессовании.

На винодельческих предприятиях используют электропастеризационные установки косвенного нагрева. Жидкость, находящаяся в аппарате или прокачиваемая через него, получает теплоту нагревательных элементов. Регулирование температуры производится автоматически. Широкое применение в хлебопекарной и кондитерской промышленности получили печи с электрообогревом, установочная мощность которых достигает 150 кВт.

**КОНДЕНСАЦИЯ** – это процесс сжижения пара или газа, он широко применяется в технике пищевой промышленности для различных целей: создания разряжения в выпарных аппаратах, использования теплоты конденсации для нагревания жидкостей (в ТА с паровым обогревом).

Конденсацию можно проводить при отводе теплоты от конденсируемых веществ с помощью охлаждающего теплоносителя, отделенного стенкой. Можно при непосредственном смешивании конденсируемых паров с охлаждающим теплоносителем – водой. В первом случае наблюдается поверхностная конденсация, во втором – конденсация смешения.

При конденсации паров на поверхности нагрева образуются отдельные капли или сплошная пленка конденсата, течение которой происходит в зависимости от аппарата (вертикальный, горизонтальный). Пленка составляет основное термическое сопротивление для теплового потока. Поэтому интенсивность теплоотдачи зависит от толщины и режима течения пленки конденсата. Количество теплоты, выделяемое при конденсации, определяется по формуле:

$$Q = D \cdot r, \text{ Дж} \quad (11.7)$$

где  $D$  – количество конденсирующего пара, кг;  $r$  – теплота конденсации, кДж/кг.

**Испарение** — физический процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное (пар). Процесс испарения является обратным процессу конденсации (переход из парообразного состояния в жидкое).

Процесс испарения зависит от интенсивности теплового движения молекул: чем быстрее движутся молекулы, тем быстрее происходит испарение. Кроме того, немаловажными факторами, влияющими на процесс испарения, являются скорость внешней (по отношению к веществу) диффузии, а также свойств самого вещества. Проще говоря, при ветре испарение происходит гораздо быстрее. Что же касается свойств вещества, то, к примеру, спирт испаряется гораздо быстрее воды.

Рассмотрим данный процесс на молекулярном уровне: молекулы, обладающие достаточной энергией (скоростью) для преодоления притяжения соседних молекул, вырываются за границы вещества (жидкости). При этом жидкость теряет часть своей энергии (остывает). Например, горячий чай: мы дуем на поверхность жидкости, чтобы остудить его, при этом, мы ускоряем процесс испарения.

Наиболее эффективно испарение жидкостей происходит при кипении. Испарение в пищевой технологии используется для охлаждения и опреснения воды, концентрирования растворов (н-р сахарных). Соответственно используются аппараты: испарители, опреснители, выпарные аппараты.

Расход тепла на испарение:

$$Q = W \cdot r, \text{ Дж} \quad (11.8)$$

где  $W$  – количество испаренной жидкости, кг;  $r$  – теплота парообразования кДж/кг .

**Кипение** — процесс парообразования внутри жидкости (переход вещества из жидкого в газообразное состояние). Поскольку при кипении изменяется удельный объём вещества, то кипение — это фазовый переход первого рода. Обычно кипение более интенсивно, чем испарение.

**Температура кипения, точка кипения** — температура, при которой происходит кипение жидкости, находящейся под постоянным давлением. Температура кипения соответствует температуре насыщенного пара над плоской поверхностью кипящей жидкости, так как сама жидкость всегда несколько перегрета относительно температуры кипения. С ростом давления температура кипения увеличивается.

При кипении процесс переноса тепла складывается из отдачи тепла жидкости стенкой и передачи тепла внутренней поверхности газового пузыря в виде теплоты испарения. При этом преодолевается термическое сопротивление тонкого пограничного слоя на границе «пузырек газа – жидкость». При медленном **кипении** в жидкости (а точнее, как правило на стенках или на дне сосуда) появляются пузырьки, наполненные паром. Образование пузырьков пара зависит от количества подводимой теплоты, от шероховатости и смачиваемой поверхности. В процессе образования газовых пузырьков, интенсивность процесса возрастает до некоторого предела, равного разности температур между стенкой аппарата и жидкостью, т.е. растет количество тепла, передаваемого жидкости с единицы поверхности в единицу времени. Начинается перемешивание среды, что приводит к росту коэффициента теплоотдачи. Этот процесс и область его существования называется **ядерным кипением (пузырчатым)**.

За счёт интенсивного испарения жидкости внутри пузырьков, они растут, всплывают, и пар высвобождается в паровую фазу над жидкостью. При этом сама жидкость находится в слегка перегретом состоянии, т.е. температура в толще жидкости превышает номинальную температуру кипения. В обычных условиях эта разница невелика (порядка одного градуса), но факт перегретости можно легко заметить, бросив что-либо в такую воду и наблюдая её резкое вскипание. В лабораторных условиях тщательно очищенные жидкости можно перегреть на десятки градусов.

Возможность перегрева жидкости объясняется тем, что для создания первичного пузырька минимального размера, который уже дальше может расти сам по себе, требуется затратить некоторую энергию (определяемую поверхностным натяжением жидкости). Пока это не достигнуто, мельчайшие пузырьки будут возникать и снова схлопываться под действием сил поверхностного натяжения, и кипения не будет.

При дальнейшем увеличении температуры интенсивность теплового потока возрастает настолько, что пузырьки превращаются в сплошную прослойку газа между стенкой и жидкостью, т.е. если температура дна сосуда значительно превышает температуру кипения жидкости, то скорость образования пузырей на дне становится столь большой, что они объединяются вместе, образуя сплошную паровую прослойку между дном сосуда и непосредственно самой жидкостью. В этом режиме **плёночного кипения** тепловой поток от нагревателя к жидкости резко падает (паровая плёнка проводит тепло хуже, чем конвекция в жидкости), т.е. термическое сопротивление резко возрастает, а коэффициент теплоотдачи резко падает. Это ведет к ухудшению процесса теплоотдачи. и в результате скорость выкипания уменьшается. Режим плёночного кипения можно наблюдать на примере капли воды на раскалённой плите.

На процесс образования пузырьков можно влиять с помощью давления, звуковых волн, ионизации. В частности, именно на принципе вскипания микрообъёмов жидкости от ионизации при прохождении заряженных частиц работает пузырьковая камера.

Интенсивность образования паровых пузырьков зависит от плотности теплового потока, который определяется по формуле:

$$q = Q/S\tau, \quad (11.9)$$

где  $\tau$  - время процесса, сек;  $q$  - плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>,  
 $Q$  - количество подводимой теплоты, Дж;  $S$  - поверхность нагреваемой стенки, м<sup>2</sup>.

Замораживание - искусственное охлаждение до температуры ниже температуры окружающей среды (+4°C до -40°C).

Основой расчетов процесса замораживания является тепловой баланс, причем пренебрегают потерями продукта и тепловыми потерями, т.к. они незначительны.

Уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q, \text{ Дж} \quad (11.10)$$

где  $Q_1$  - количество теплоты, отдаваемой продуктом при его охлаждении от начальной до его криоскопической температуры, Дж;  $Q_2$  - количество теплоты, отдаваемой продуктом при фазовом превращении воды (образовании льда), Дж;  $Q_3$  - количество теплоты, отдаваемой продуктом при его охлаждении после замораживания, Дж;  $Q$  - количество теплоты, воспринятое хладоносителем, Дж.

Замораживание применяется в следующих случаях:

- замораживание пищевых продуктов с целью обеспечения продолжительного хранения их питательной ценности;
- замораживание смесей с целью получения специфических пищевых продуктов (мороженого, замороженных кремов и др.)
- замораживание пищевых продуктов как подготовительный технологической операции при их сублимационной сушке (лиофилизация);
- замораживание жидких продуктов с целью их концентрации, т.е. осуществление процесса криоконцентрации фруктовых и овощных соков, виноградного и пивного сусла, уксуса, вина, кофе, получения питьевой воды из морской воды и др.;
- замораживание воды для получения льда.



Замораживание пищевых продуктов в воздушной среде – старый и наиболее распространённый метод, так как воздух является естественной охлаждающей средой. При этом плохие теплофизические свойства воздуха компенсируются высокими рабочими скоростями воздушного потока.

Замораживание в псевдооживленном слое являются одним из перспективных промышленных методов замораживания пищевых продуктов россыпью. При замораживании указанным методом продукты, подверженные холодильной обработке, образуют «кипящий» слой при определённой скорости и давлении восходящего воздушного потока. Высокая эффективность аппаратов, основанных на таком принципе работы, обусловлена, прежде всего коэффициентом теплоотдачи материала – от 75 до 186 Вт/(м<sup>2</sup>К). В аппаратах, работающих полностью на принципе псевдооживлений (флюидизации), воздушный поток пронизывает целиком слой продукта, а также играет роль воздушной подушки для передвижения продукта по камере. Основные преимущества флюидального замораживания: высокая интенсивность и непрерывность технологического процесса и высокое качество замороженного продукта.

Замораживание в жидких хладоносителях и криогенных жидкостях более эффективно, чем замораживание в воздушной среде, так как коэффициент теплоотдачи из продукта в жидкую среду значительно интенсивнее. В качестве хладоносителя чаще всего используются водные растворы различных солей (NaCl, CaCl<sub>2</sub> и др.), в которые после их охлаждения до определённой температуры погружают продукты, предназначенные для замораживания.

В аппаратах для замораживания в криогенной жидкости применяют азот и воздух, имеющие низкую нормальную температуру кипения (-195 и -192°C). Промышленное замораживание пищевых продуктов в жидком азоте началось в 60-х годах XX века. Для этих целей используется чистый азот, полученный в качестве отхода на предприятиях, вырабатывающих сжиженный кислород.

Замораживание в жидком азоте проводили методом погружения. Так достигалось сверхбыстрое замораживание, но появились внутренние напряжения и трещины в продуктах, да и с энергетической стороны этот метод невыгоден, так как используется охлаждающий эффект испарения азота. На данном этапе имеются морозильные аппараты, сложной конструкции и больших объёмов, где процесс замораживания идёт поэтапно, при движении продукта по решётчатому конвейеру – производится обдув продукта жидким азотом (до -20°C внутри продукта). Процесс происходит быстро, но очень дорогой в 3-4 дорожке, чем замораживание в воздушной среде, большой расход азота от 0,8 до 2 кг/кг.

Замораживание в криогенных (фреонных) морозильных аппаратах.

К криогенным морозильным аппаратам относят к аппаратам, работающие на сжиженном воздухе, а также на фреоне.

Фреон многократно циркулирует в системе. Замораживание в жидком фреоне в 1,5-2 раза дороже замораживания в воздушоструйных морозильных аппаратах и следовательно в два раза дешевле замораживания в жидком азоте.

В случае применения аммиака его давление не превышает 1,2–1,4 МПа. Стоимость аммиака относительно невысока. По отношению к чёрным металлам аммиак нейтрален, в присутствии влаги активно действует на медь и её сплавы, которые нельзя применять в аммиачных машинах. Однако аммиак имеет два существенных недостатка. Он взрывоопасен и оказывает вредное влияние на здоровье человека. Поэтому при эксплуатации аммиачных машин следует соблюдать правила охраны труда.

Фреон – 12 (-29,8°C) и фреон – 22 (-40,8°C) – холодильные агенты, которые безвредны, не имеют запаха и невзрывоопасны. Фреон – 12 является одним из основных холодильных агентов для крупных, средних и малых холодильных установок с поршневыми компрессорами. Однако при температуре свыше 400°C он разлагается с образованием вредных соединений. Поэтому применение открытого пламени в помещении с фреоновой холодильной установкой нежелательно. Фреон – 12 весьма текуч и проникает через

малейшие неплотности в соединениях, и даже поры металла. Фреон – 22 имеет те же свойства, но установки работающие на нём значительно компактней.

Эффективность замораживания зависит от формы и размеров продукта. Они влияют на продолжительность, которая обуславливает качество замораживания. Чем быстрее происходит замораживание, тем больше сохраняются первоначальные свойства и выше качество размороженного продукта.

2. Цель интенсификации тепловых процессов заключается в повышении эффективности работы аппаратов и снижении расхода ими тепловой энергии. Задачи интенсификации предусматривают экономию энергии путем оптимизации технологически процессов, а именно интенсификация теплообмена связана с коэффициентом теплоотдачи и термическим сопротивлением стенки.

Основными способами повышения коэффициента теплоотдачи являются:

1. Правильный выбор теплового аппарата.
2. Обеспечение турбулентного режима движения теплообменных сред в аппарате (применяют турбулизирующие вставки, перемешивающие устройства).
3. Замена свободной конвекции на принудительную.
4. Своевременный и полный отвод конденсата из паровых пространств, а также несконденсированных паров.
5. Оптимизация формы и размеров продукта, подвергаемых тепловой обработке.
6. Снижение термического сопротивления стенок аппарата за счет удаления накипи и пригара продукта.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое градиент температур?
2. Перечислите три способа передачи теплоты?
3. Что такое теплопроводность?
4. Что такое конвекция?
5. Какими законами описываются теплопроводность и конвекция?
6. Какова цель интенсификации тепловых процессов?
7. Перечислите основные способы повышения коэффициента теплоотдачи?
8. Какие методы нагревания применяют в пищевых производствах?
9. Когда можно применять нагревание острым паром?
10. Какие хладагенты используют для охлаждения?
11. Что такое кипение?
12. Какие две стадии кипения вы знаете?
13. Перечислите виды замораживания.
14. Какие хладагенты для замораживания применяются в пищевой промышленности?

### Список литературы

#### Основная

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
2. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6
3. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 2 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 608 с. ISBN 978-5-98879-051-8

4. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

Дополнительная

1. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.
2. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

### ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

#### Вопросы.

1. Устройство теплообменной аппаратуры.
2. Подбор теплообменников

1. В пищевой промышленности широко распространены тепловые процессы - нагревание и охлаждение жидкостей и газов и конденсация паров, которые проводятся в теплообменных аппаратах (теплообменниках).

**Теплообменными аппаратами** называются устройства, предназначенные для передачи тепла от одного теплоносителя к другому для осуществления различных тепловых процессов, например, нагревания, охлаждения, кипения, конденсации или более сложных физико-химических процессов – выпаривания и ректификации.

Из-за разнообразия предъявляемых к теплообменным аппаратам требований, связанных с условиями их эксплуатации, применяют аппараты самых различных конструкций и типов, причем для аппарата каждого типа разработан широкий размерный ряд поверхности теплообмена.

Широкая номенклатура теплообменников по типам, размерам, параметрам и материалам позволяет выбрать для конкретных условий теплообмена аппарат, оптимальный по размерам и материалам.

В качестве прямых источников тепла в химической технологии используют главным образом топочные газы, представляющие собой газообразные продукты сгорания топлива, и электрическую энергию. Вещества, получающие тепло от этих источников и отдающие его через стенку теплообменника нагреваемой среде, носят название **промежуточных теплоносителей**. В пищевой промышленности числу распространенных теплоносителей относятся водяной пар и горячая вода, а также так называемые высокотемпературные теплоносители - перегретая вода, минеральные масла, органические жидкости (и их пары), расплавленные соли, жидкие металлы и их сплавы.

В качестве охлаждающих агентов для охлаждения до обыкновенных температур (10-30<sup>0</sup>С) применяют в основном воду и воздух.

По основному назначению ТА делят на собственно теплообменники, где тепловой процесс является основным и реакторы, где тепловой процесс является вспомогательным, а основной процесс может быть либо физико-химический либо биохимический.

Все теплообменные аппараты по способу передачи тепла разделяются на две большие группы: **поверхностные теплообменные аппараты** и **аппараты смешения**. В поверхностных аппаратах передача тепла от одного теплоносителя к другому осуществляется с участием твердой стенки. Процесс теплопередачи в смесительных теплообменных аппаратах осуществляется путем непосредственного контакта и смешения жидких и газообразных теплоносителей.

Поверхностные теплообменные аппараты в свою очередь подразделяют на **рекуперативные** и **регенеративные**. В рекуперативных аппаратах тепло от одного теплоносителя к другому передается через разделяющую их стенку из теплопроводного материала. В регенеративных теплообменных аппаратах теплоносители попеременно соприкасаются с одной и той же поверхностью нагрева, которая в один период нагревается, аккумулируя тепло «горячего» теплоносителя, а во второй период охлаждается, отдавая тепло «холодному» теплоносителю.

Рекуперативные теплообменные аппараты классифицируются по следующим признакам:

- по роду теплоносителей в зависимости от их агрегатного состояния: паро-жидкостные; жидкостно-жидкостные; газо-жидкостные; газо-газовые; паро-газовые.

- по конфигурации поверхности теплообмена: трубчатые аппараты с прямыми трубками; спиральные; пластинчатые; змеевиковые.
- по компоновке поверхности нагрева: типа «труба в трубе»; кожухотрубчатые; оросительные аппараты.

Теплообменные аппараты поверхностного типа, кроме того классифицируются по назначению (подогреватели, холодильники и т.д.); по взаимному направлению теплоносителей (прямоток, противоток, смешанный ток и т.д.); по материалу поверхности теплообмена; по числу ходов и т.д.

Классификация поверхностных теплообменных аппаратов по отдельным группам, рисунок 10.1

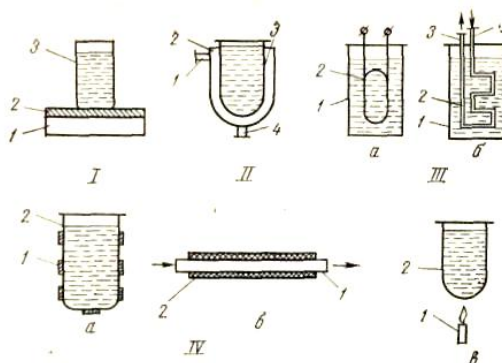


Рисунок 10.1. – Классификация теплообменных аппаратов:

I – с открытой греющей поверхностью: 1 – нагревательный элемент; 2 – греющая поверхность; 3 – нагреваемый объект. II – с рубашкой: 1 – патрубок для ввода греющего агента; 2 – рубашка; 3 – корпус аппарата; 4 – патрубок для выхода. III – с внутрилежащей поверхностью нагрева: а – с электронагревателем: 1 – корпус аппарата; 2 – электронагреватель; б – с трубчатым нагревателем: 1 – корпус, 2 – нагреватель, 3, 4 – патрубки для входа и выхода. IV – с поверхностными теплоносителями: а – цилиндрический: 1 – гибкие нагреватели 2 – корпус, б – трубчатый: 1 – труба для нагреваемой жидкости, 2 – гибкие нагреватели; в – с огневым обогревом: 1 – горелка, 2 – корпус.

Кожухотрубчатые теплообменники представляют собой аппараты, выполненные из пучков труб, скрепленных при помощи трубных решеток (досок) и ограниченных кожухами и крышками с патрубками, рисунок 10.2.

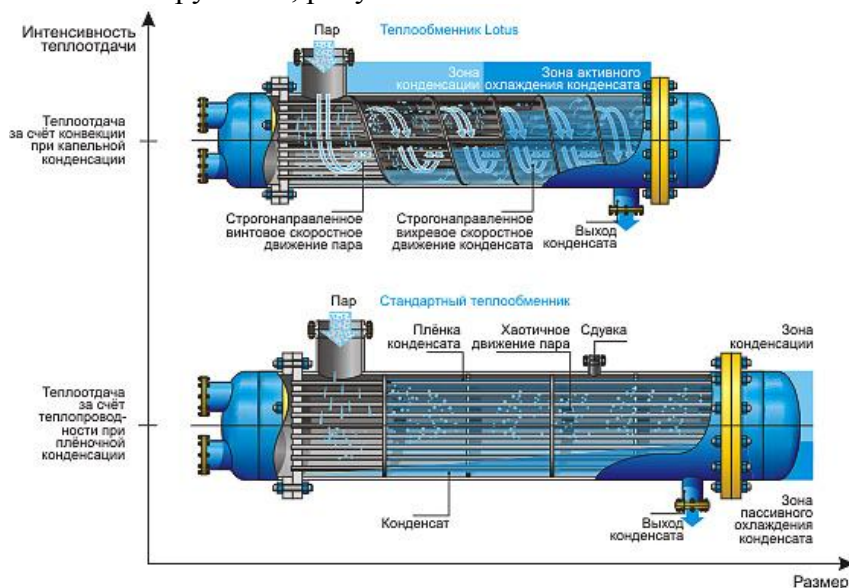


Рисунок 10.2 - Кожухотрубчатые теплообменники  
 На производстве применяются аппараты одно и многоходовые, рисунок 10.3

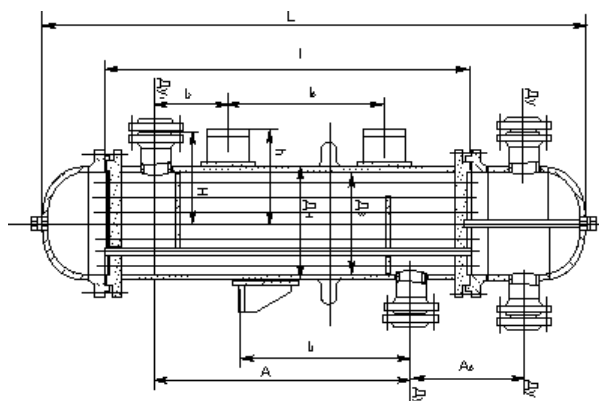


Рисунок 10.3 а. - Аппараты кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками многоходовые

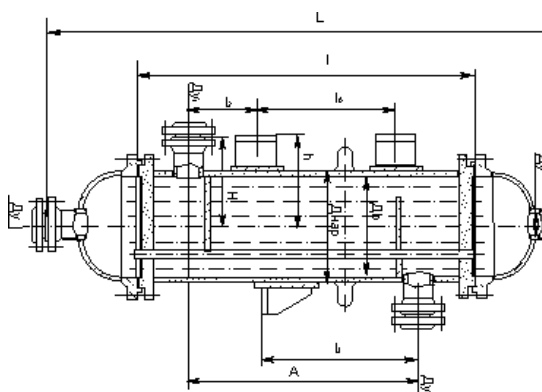


Рисунок 10.3 б. - Аппараты кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками одноходовые

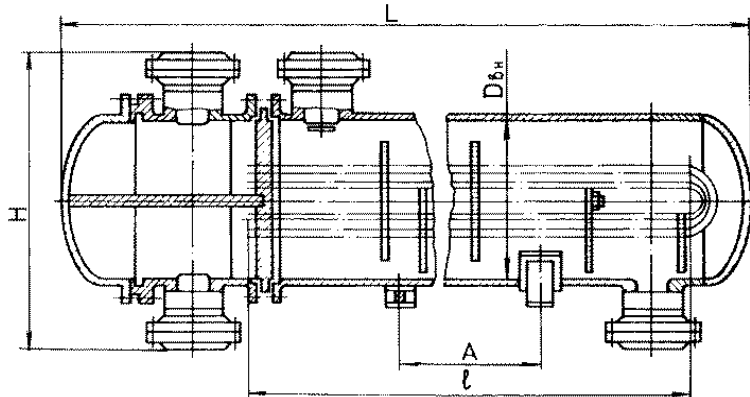


Рисунок 10.3 в. - Аппараты кожухотрубчатые U-образные

Трубное и межтрубное пространства в аппарате разобщены, а каждое из них может быть разделено перегородками на несколько ходов. Перегородки предназначены для увеличения скорости и, следовательно, коэффициента теплоотдачи теплоносителей. Теплообменники этого типа предназначаются для теплообмена: между различными жидкостями, между жидкостями и паром, между жидкостями и газами. Они применяются в случаях, когда требуется большая поверхность теплообмена.

Применяются типовые конструкции кожухотрубчатых теплообменников. При нагреве жидкости паром в большинстве случаев пар вводится в межтрубное пространство, а нагреваемая жидкость протекает по трубкам. В кожухотрубчатых теплообменниках проходное сечение межтрубного пространства в 2-3 раза больше проходного сечения внутри труб. Поэтому при одинаковых расходах теплоносителей, имеющих одинаковое агрегатное состояние, скорости теплоносителя в межтрубном пространстве более низкие и коэффициенты теплоотдачи на поверхности межтрубного пространства невысокие, что снижает коэффициент теплопередачи в аппарате. Теплопередающая поверхность аппаратов может составлять от нескольких сотен квадратных сантиметров до нескольких тысяч квадратных метров. Корпус (кожух) кожухотрубчатого теплообменника представляет собой цилиндр, сваренный из одного или нескольких стальных листов. Кожухи различаются главным образом способом соединения с трубной решеткой и крышками. Толщина стенки кожуха определяется максимальным давлением рабочей среды и диаметром аппарата, но не делается тоньше 4 мм. К цилиндрическим кромкам кожуха привариваются фланцы для соединения с крышками или днищами. На наружной поверхности кожуха привариваются патрубки и опоры аппарата. Трубки кожухотрубчатых аппаратов изготавливают прямыми или изогнутыми (U-образными), рисунок 10.3 в, диаметром от 12 до 57 мм. Материал трубок выбирается в зависимости от среды, омывающей ее поверхность. Применяются трубки из стали, латуни и из специальных сплавов. Крышки кожухотрубчатых аппаратов имеют форму плоских плит, конусов, сфер, а чаще всего выпуклых или вогнутых эллипсов.

Секционные теплообменники представляют собой разновидность трубчатых аппаратов, состоят из нескольких последовательно соединенных секций, каждая из которых представляет собой кожухотрубчатый теплообменник с малым числом труб и кожухом небольшого диаметра (рисунок 10.4).

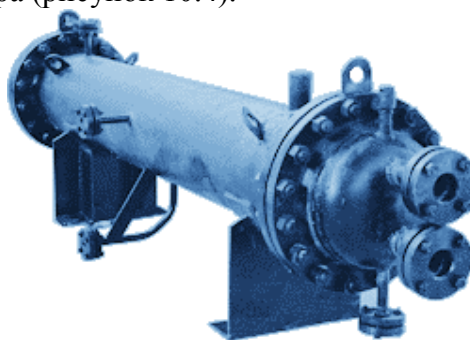


Рисунок 10.4 – Секционный теплообменник.

В секционных теплообменниках при одинаковых расходах жидкостей скорости движения теплоносителей в трубах и межтрубном пространстве почти равновелики, что обеспечивает повышенные коэффициенты теплопередачи по сравнению с обычными трубчатыми теплообменниками. Простейшим из этого типа теплообменников является теплообменник "труба в трубе", рисунок 10.5: в наружную трубу вставлена труба меньшего диаметра. Все элементы аппарата соединены сваркой.

Недостатки секционных теплообменников: высокая стоимость единицы поверхности нагрева, так как деление ее на секции вызывает увеличение количества наиболее дорогих элементов аппарата - трубных решеток, фланцевых соединений, переходных камер, компенсаторов и т. д.; значительные гидравлические сопротивления вследствие различных поворотов и переходов вызывают повышенный расход электроэнергии на привод прокачивающего теплоноситель насоса.

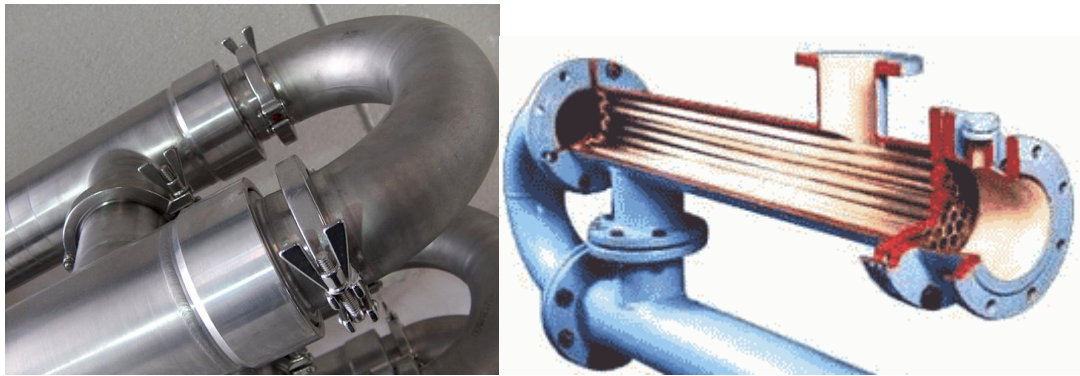


Рисунок 10.5 Аппарат типа «труба в трубе».

### Описание работы аппарат типа труба в трубе.

При истечении жидкостей в теплообменнике температура их изменяется: горячая жидкость охлаждается, а холодная нагревается. Характер изменения температуры жидкости, движущейся вдоль поверхности нагрева, зависит от схемы ее движения. В теплообменных аппаратах применяются в основном три схемы движения жидкостей:

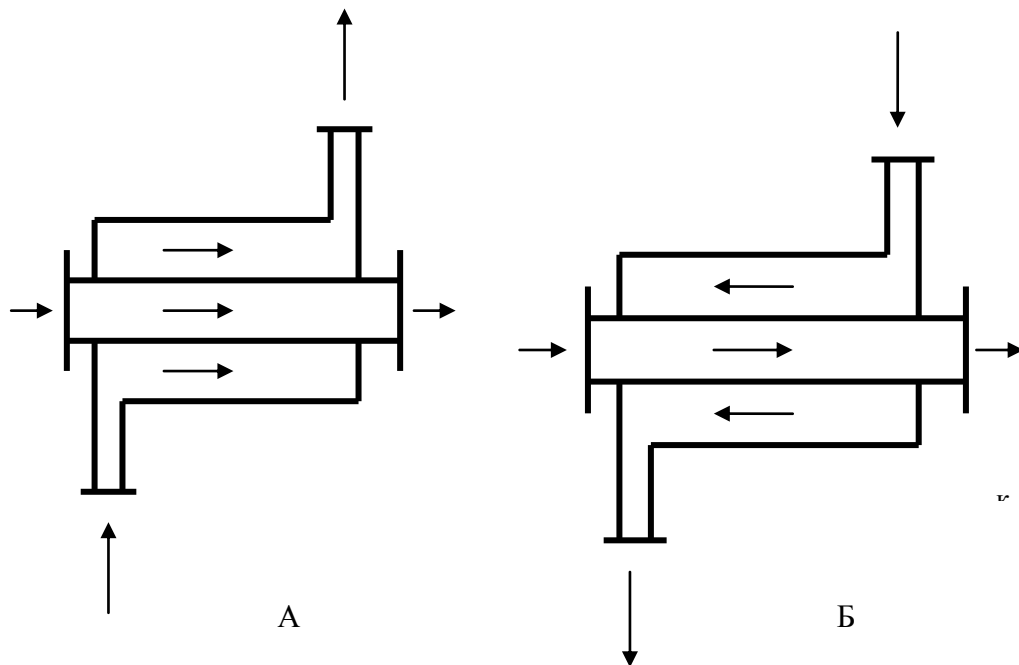


Рисунок 10.6 Схема движения жидкостей в теплообменнике типа «труба в трубе» при прямотоке (А) и противотоке (Б).

- прямоточная, когда горячая и холодная жидкости протекают параллельно;
- противоточная, когда горячая и холодная жидкости протекают в противоположном друг другу направлении;
- перекрестная, когда жидкости протекают в перекрестном направлении.

В аппаратах типа «труба в трубе» организуют прямоток и противоток, рисунок 10.6

Конструкцию ТА следует выбирать, исходя из следующих основных требований, предъявляемых к ТА:

- соответствие аппарата технологическому процессу обработки данного продукта. Это достигается при условии поддержания температуры процесса, обеспечении регулирования температурного режима, соответствии рабочих скоростей продукта



минимально необходимой продолжительности пребывания продукта в аппарате, выборе материала аппарата в соответствии с химическими свойствам продукта, соответствии аппарата давлениям рабочих сред;

- высокая эффективность (производительность) и экономичность работы аппарата, связанные с повышением интенсивности теплообмена. Эти условия выполняются при достаточной скорости сред для осуществления турбулентного режима, благоприятном относительном движении рабочих сред (лучше противоток), обеспечении оптимальных условия для отвода конденсата, предотвращении загрязнения либо легкой очистки поверхностей аппарата;

- компактность, малая масса, простота конструкции, удобство монтажа и ремонта аппарата. Здесь оказывают влияние следующие факторы – это конфигурация поверхности, способ размещения и крепление трубок в трубных решетках, наличие и тип перегородок, уплотнений, габаритные размеры аппарата.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое тепловой аппарат?
2. Как классифицируются тепловые аппараты?
3. Опишите конструкцию теплообменного кожухотрубного аппарата
4. Опишите принцип действия кожухотрубного теплообменного аппарата.
5. Опишите конструкцию аппарата типа «труба в трубе»?
6. От чего зависит выбор того или иного ТА?

### Список литературы

#### Основная

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
2. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6
3. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 2 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 608 с. ISBN 978-5-98879-051-8
4. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

#### Дополнительная

1. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.
2. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

### МАССОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

#### Вопросы.

1. Основные законы массопередачи.
2. Метод расчета основных параметров массообменных аппаратов

**Массообмен** - процесс, который характеризуется переходом одного или нескольких веществ из одной фазы в другую. Этот переход осуществляется конвективной и молекулярной диффузией, поэтому массообменные процессы называют также диффузионными. Процесс переноса вещества из одной фазы в другую, аналогично процессу переноса тепла, осуществляется в три стадии: перенос к поверхности раздела фаз, перенос через границу раздела фаз и перенос в пределах другой фазы. При теплопередаче обменивающиеся теплом среды разделены твердой стенкой, в то время как массопередача происходит обычно через границу поверхности раздела соприкасающихся фаз. Эта граница может быть либо подвижной (массопередача в системах газ-жидкость или пар-жидкость, жидкость-жидкость), либо неподвижной (массопередача с твердой фазой).

Перенос вещества из фазы к границе раздела фаз или в обратном направлении, т.е. в пределах одной из фаз, называется массоотдачей.

К массообменным процессам относятся абсорбция, адсорбция, экстракция, ректификация, сушка и кристаллизация.

**Абсорбция** - избирательное поглощение газов или паров жидким поглотителем - абсорбентом; при этом масса одного вещества или группы веществ переходит из газовой или паровой фазы в жидкую фазу.

**Адсорбция** - избирательное поглощение газов, паров или растворенных в жидкости веществ твердым пористым поглотителем - адсорбентом; при этом вещества из газовой, паровой или жидкой фазы переходят в твердую фазу.

**Экстракция** - избирательное извлечение вещества из жидкой смеси или твердого пористого тела жидкостью - экстрагентом; при этом вещество из жидкой или твердой фазы переходит в жидкую фазу (экстрагент).

**Ректификация** - разделение жидкой смеси на составляющие ее чистые компоненты в результате различия их летучести и противоточного взаимодействия жидкого и парового потоков; при этом вещества из жидкой фазы переходят в паровую (при кипении) и, наоборот (при конденсации), обогащая легколетучим компонентом паровую фазу.

**Сушка** - удаление влаги из твердых и пластических материалов путем ее испарения; при этом влага из твердых или пластических материалов переходит в паровую или газовую фазу.

**Кристаллизация** - выделение твердого растворенного вещества из его пересыщенного раствора; при этом вещество из жидкой фазы переходит в твердую фазу.

Массообменные процессы обратимы, т.е. распределяемое между фазами вещество может переходить из одной фазы в другую в зависимости от концентрации этого вещества в фазах и условий равновесия, которые в свою очередь зависят от температуры и давления проводимого процесса и определяются правилом фаз Гиббса, принципом Ле-Шателье и другими законами фазового равновесия. По аналогии с процессами переноса тепла количество вещества, переносимое при массообмене, пропорционально поверхности контакта фаз и движущей силе процесса - разности концентраций распределяемого вещества во взаимодействующих фазах.

Скорость массопередачи связана с механизмом переноса распределяемого вещества в фазах, между которыми происходит массообмен. Перенос вещества внутри фазы может происходить только путем молекулярной диффузии, либо путем конвекции и молекулярной диффузии одновременно. Посредством одной молекулярной диффузии вещество перемещается, строго говоря, лишь в неподвижной среде (твердой фазе). В движущейся среде перенос вещества осуществляется как молекулярной диффузией, так и самой средой (конвекцией) в направлении ее движения. В турбулентном потоке перенос молекулярной диффузией наблюдается только вблизи границы раздела фаз.

**Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика)**, основанный на том, что диффузия в газах и растворах жидкостей происходит в результате беспорядочного теплового движения молекул, атомов, ионов, коллоидных частиц, приводящего к переносу вещества из зоны высоких концентраций в зону низких концентраций, гласит: "Масса вещества  $dM$ , продиффундировавшего за время  $dt$  через элементарную поверхность  $dS$  (нормальную к направлению диффузии), пропорциональна градиенту концентрации  $dc/dn$  этого вещества".

По своей структуре закон Фика аналогичен закону Фурье.

**Закон конвективной диффузии** позволяет определить количество вещества, переносимого в одной фазе к границе или от границы (при массоотдаче) раздела фаз.

## 2 вопрос

При проведении технологических расчетов массообменных аппаратов определяют их диаметр (если аппараты цилиндрической формы) и высоту (или длину). Диаметр или сечение аппарата отражают его производительность, а высота-интенсивность протекающих в аппарате процессов. Часто после завершения расчета размеров массообменных аппаратов возникает необходимость определения их гидравлического сопротивления.

Расчет диффузионных процессов и аппаратов на базе основного уравнения массопередачи. Расчет диффузионных аппаратов на базе числа единиц переноса. Расчет диффузионных аппаратов на базе числа теоретических тарелок. "Кпд" ступени и его расчет. Расчет диффузионных процессов с твердой фазой. Расчет диффузионных процессов и аппаратов на базе инженерных аппроксимаций кинетических характеристик. Сравнение методов расчета диффузионных аппаратов.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какие процессы называются массообменными? Приведите примеры.
2. В каком направлении и до какого предела протекают массообменные процессы?
3. Приведите примеры аналогий массопередачи, теплопередачи. Чем отличаются эти процессы?
4. Составьте уравнение материального баланса по всему веществу и по распределяемому компоненту.
5. Что характеризует рабочая и равновесная линии процесса? Как определить направление массопередачи?
6. Какой закон описывает перенос вещества из ядра потока к поверхности раздела фаз?
7. В чем отличие в форме записи основного уравнения массопередачи от основного уравнения теплопередачи?
8. Охарактеризуйте понятия коэффициент диффузии, коэффициент

15. массоотдачи, коэффициент массопередачи. Покажите их взаимосвязь.
16. В каких случаях среднюю движущую силу определяют через число
17. единиц переноса? В каких случаях среднюю движущую силу можно определить как среднелогарифмическую?

#### Список литературы

##### Основная

5. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
6. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6
7. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 2 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 608 с. ISBN 978-5-98879-051-8
8. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

##### Дополнительная

3. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.
4. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

## МАССОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

### Вопросы.

1. Сушка. Виды сушки.
2. Ректификация.
3. Экстракция.
4. Методы интенсификации процессов.

**СУШКА** - удаление жидкости (чаще всего влаги-воды, реже иных жидкостей, напр. летучих орг. растворителей) из веществ и материалов тепловыми способами. Осуществляется путем испарения жидкости и отвода образовавшихся паров при подводе к высушиваемому материалу теплоты, чаще всего с помощью так называемых сушильных агентов (нагретый воздух, топочные газы и их смеси с воздухом, инертные газы, перегретый пар). Сушке подвергают влажные тела: твердые-коллоидные, зернистые, порошкообразные, кусковые, гранулированные, листовые, тканые и др. (эта группа высушиваемых материалов наиболее распространена); пастообразные; жидкие-суспензии, эмульсии, растворы.

Цель сушки - улучшение качества веществ и материалов, подготовка их к переработке, использованию, транспортированию и хранению. Данный процесс часто является последней технологической операцией, предшествующей выпуску готового продукта. При этом жидкость предварительно удаляют более дешевыми механическими способами, окончательно-тепловыми.

Естественную сушку на открытом воздухе из-за значительной продолжительности используют крайне редко и гл. обр. в районах с теплым климатом. В хим. производствах применяют, как правило, искусственную Сушку, проводимую в специальных сушильных установках, в состав которых входят: сушильный аппарат, или сушилка, где непосредственно протекает процесс; вспомогательное оборудование-теплообменные аппараты (калориферы), тяго-дутьевое устройство (вентилятор, воздуходувка) и система пылеочистки, соотв. для нагревания сушильного агента, пропускания его через сушилку и отделения от высушенного продукта.

По способу подвода теплоты к влажному телу различают след. виды Сушки: конвективную (в потоке нагретого сушильного агента, выполняющего одновременно функции теплоносителя и влагоносителя- транспортирующей среды, в которую переходит удаляемая влага, и в ряде случаев способствующего созданию необходимой гидродинамич. обстановки); контактную (при соприкосновении тела с нагретой поверхностью); диэлектрическую (токами высокой частоты); сублимационную (вымораживанием в вакууме; см. также **Сублимация**); радиационную (ИК излучением); акустическую (с помощью ультразвука).

### Инфракрасная сушка.

Наиболее актуальной и перспективной в данный момент является сушка продуктов питания с применением инфракрасного излучения. Инфракрасное излучение твердых тел обусловлено возбуждением молекул и атомов тела вследствие их теплового движения. При поглощении инфракрасного излучения облучаемым телом в нем увеличивается тепловое движение атомов и молекул, что вызывает его нагревание.

Сушка продуктов по данной технологии позволяет сохранить содержание витаминов и других биологически активных веществ в сухом продукте на уровне 80-90% от исходного сырья. При непродолжительном замачивании (10-20 мин.) прошедший сушку продукт восстанавливает все свои натуральные органолептические, физические и химические свойства и может употребляться в свежем виде или подвергаться любым

видам кулинарной обработки. Сушка продуктов (сушка овощей и фруктов, сушка рыбы, мяса, круп и т.д.) таким способом дает возможность производства разнообразных пищевых концентратов быстрого приготовления: первые, вторые, третьи блюда, закуски, каши, крупы, овощные и фруктовые порошки, которые используются в хлебопекарной, кондитерской промышленности, как компонент сухих смесей детского питания. По сравнению с традиционной сушкой, овощи, обработанные инфракрасной сушкой после восстановления обладают вкусовыми качествами, максимально приближенными к свежим. Сушка продуктов производится при низкой температуре - 50-60 градусов Цельсия, сушка продуктов производится с высокой скоростью - 30-200 мин, простота и надежность, низкая цена и высокая окупаемость.

### **Микроволновая**

С помощью микроволнового оборудования действительно можно решать актуальные задачи многих производств - сушить рыбу, мясо, зерно, фрукты и овощи, лесоматериалы, кирпич и овечью шерсть, хлопок-сырец, лекарственные травы, повышать качество комбикормов, извлекать из растительного сырья соединения, альтернативные ядохимикатам (пестициды естественной природы). Микроволновая технология и созданное на ее основе микроволновое оборудование для сушки фруктов, оборудование для сушки овощей позволяет не только высушивать продукцию, но и получать пищевые красители, размораживать рыбу, мясо, овощи, ягоды и другие продукты питания, проводить бестемпературное консервирование и многое другое.

Микроволновый метод сушки основан на воздействии на обезвоживаемый продукт интенсивного электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ). Под действием СВЧ поля молекулы воды (диполи) начинают совершать колебательные и вращательные движения, ориентируясь с частотой поля по его электрическим линиям. Движение молекул - это и есть тепловая энергия. Чем больше воды в заданном объеме, тем больше молекул участвует в этом движении, тем больше тепловой энергии выделяется. Таким образом, разогрев происходит во всем объеме продукта, причем более влажные участки получают больше энергии. За счет этого происходит удаление влаги, сушка продукта, и, одновременно, - выравнивание влажности в объеме продукта. Причем при снижении влажности сырья процесс сушки продукта не замедляется, поскольку механизм теплопроводности не играет здесь ключевой роли. Микроволновая сушка рыбы, мяса, грибов, круп, овощей и фруктов характеризуется малым временем и относительно низкой температурой процесса, что применительно к пищевым продуктам обуславливает очень высокую сохраняемость полезных веществ и витаминов.

**Сублимационная сушка** продуктов (сублимационная вакуумная сушка, также известная как лиофилизация или возгонка) - это удаление влаги из свежемороженых продуктов в условиях вакуума.

В настоящее время этот метод сушки продуктов является наиболее совершенным, но в то же время и наиболее дорогостоящим. Этот способ был открыт в начале прошлого века, однако использовался только для производства довольно ограниченного количества и ассортимента сухопродуктов для нужд армии и космонавтики.

Принцип сублимационной сушки основан на том физическом факте, что при значениях атмосферного давления ниже определенного порога - т.н. "тройной точки" (для чистой воды: 6,1 мбар при 0 градусов Цельсия) вода может находиться только в двух агрегатных состояниях - твердом и газообразном, переход воды в жидкое состояние в таких условиях невозможен. И если парциальное давление водного пара в окружающей среде ниже чем парциальное давление льда, то лед продукции прямо переводится в газообразное состояние минуя жидкую фазу.

Процесс сублимационной сушки продуктов физически состоит из двух основных этапов (замораживание и сушка продукта) и этапа досушивания. Так как удаление основной массы влаги из объектов сушки происходит при отрицательных температурах (-

20...-30 градусов Цельсия), а их досушивание осуществляется также при щадящем (не выше +40 градусов) температурном режиме, то в результате достигается высокая степень сохранности всех наиболее биологически ценных компонентов исходного сырья.

Наибольшее применение сублимационная вакуумная сушка получила в технологиях производства лекарственных препаратов, ферментов, заквасок, экстрактов лекарственных трав и других объектов, которым требуется обеспечить сохранность в сухопродукте всех полезных составляющих сырья в течение длительных периодов времени.

Кондуктивный способ сушки пищевых продуктов основывается на передаче тепла высушиваемому продукту путем непосредственного контакта с нагреваемой поверхностью сушильного оборудования.

Для сушки продуктов питания этот способ используется не часто. Высокого качества конечного сухопродукта достичь не удастся вследствие неравномерности влажности конечного продукта; продукт, контактирующий с нагретой поверхностью в период сушки, пересушивается, что приводит к необратимости процессов восстановления, а из-за высокой температуры (320-340 градусов Цельсия) в камере сушильного оборудования, конечный сухопродукт теряет 30-40% витаминов и биологически активных веществ и становится ломким. Больше применение этот способ сушки находит при сушке пиломатериалов, а также сырья и продукции в текстильной промышленности.

Одним из самых распространенных способов сушки продуктов в настоящее время является конвективный способ сушки.

Этот способ сушки продуктов основан на передаче тепла высушиваемому продукту за счет энергии нагретого сушильного агента - воздуха или парогазовой смеси. Сушка продуктов при этом способе происходит при омывании продукта нагретым газом, воздухом, топочными газами, перегретым паром и другими теплоносителями, которые имеют температуру, отличную от температуры подвергающегося сушке материала. При этом способе сушки за счет сообщаемой продукту тепловой энергии идет испарение находящейся в продукте влаги, а унос паров влаги осуществляется сушильным агентом. Различают конвективную сушку материалов в слое, при которой применяются сушилки с омыванием материала в слое или изделия агентом сушки (туннельные, камерные, петлевые, валковые, турбинные, ленточные, шахтные сушилки), а также конвективная сушка с сопловым обдувом плоских материалов. Кроме этого различают конвективную сушку материалов или изделий во взвешенном и полувзвешенном состоянии, которая может осуществляться в барабанных установках, в установках с кипящим слоем, в пневматических трубах-сушилках, в вихревом потоке, а также с помощью сушки распылением.

**Акустический метод сушки** продуктов основан на воздействии на обезвоживаемый продукт интенсивных ультразвуковых волн. Данный процесс сушки носит циклический характер, волна выбивает влагу, находящуюся на поверхности продукта, затем оставшаяся влага равномерно распределяется по капиллярам и процесс повторяется снова. Это происходит до тех пор, пока продукт не достигнет заданной влажности.

Акустический способ позволяет сушить широкий набор материалов: продукты сельского хозяйства (зерно, овощи, фрукты и другие), древесина, хлопок, лекарственные препараты и травы, бумага, продукция химической и других отраслей промышленности.

При акустической сушке влага экстрагируется из подвергаемого сушке продукта под действием звука с соответствующими характеристиками. Принципиальная особенность способа: сушка продуктов протекает без повышения температуры продуктов.

2 вопрос

Экстракция (от лат. *extraho*- извлекаю) - метод извлечения вещества из раствора или сухой смеси одного или нескольких компонентов с помощью подходящего

растворителя (экстрагента), обладающего избирательной растворимостью. Движущей силой процесса является разность концентраций. Для извлечения из раствора применяются растворители, не смешивающиеся с этим раствором, но в которых вещество растворяется лучше, чем в первом растворителе. Это один из массообменных процессов пищевой промышленности. Используется для извлечения, разделения и концентрирования растворенных веществ. Под избирательной растворимостью понимается способность жидкости растворять только тот компонент, который следует извлечь.

Экстракция применяется в химической, нефтеперерабатывающей, пищевой, металлургической, фармацевтической и других отраслях, в аналитической химии и химическом синтезе.

Экстракция может быть разовой (однократной или многократной) или непрерывной (перколяция). Простейший способ экстракции из раствора - однократная или многократная промывка экстрагентом в делительной воронке. Делительная воронка представляет собой сосуд с пробкой и краном для слива нижнего слоя жидкости. Для непрерывной экстракции используются специальные аппараты - экстракторы, или перколяторы.

К основным стадиям экстракции жидкости относятся: 1) приведение в контакт и диспергирование фаз; 2) разделение или расслаивание фаз на экстракт (извлекающая фаза) и рафинат (исчерпываемая фаза); 3) выделение целевых компонентов из экстракта и регенерация экстрагента, для чего наряду с дистилляцией наиболее часто применяют реэкстракцию (процесс, обратный экстракции жидкости), обрабатывая экстракт водными растворами веществ, обеспечивающих полный перевод целевых компонентов в раствор или осадок и их концентрирование; 4) промывка экстракта для уменьшения содержания и удаления механически захваченного исходного раствора.

Экстрагенты обеспечивают переход целевых компонентов из исчерпываемой (тяжелой) фазы, которая чаще всего представляет собой водный раствор, в извлекающую (легкую) фазу (обычно орг. жидкость). Две контактирующие жидкие фазы и распределяемый между ними целевой компонент образуют экстракционную систему. Извлекающая фаза включает только экстрагент (или смесь экстрагентов) либо является раствором одного или нескольких экстрагентов в разбавителе, служащем для улучшения физ. (вязкость, плотность) и экстракционных свойств экстрагентов. Таким образом, экстракцию из жидких систем можно представить следующим образом. Допустим в жидкости *A* растворен компонент *B*. Это означает, что имеется двухкомпонентный раствор *A+B*. Если к этому раствору добавить растворитель (экстрагент) *D*, который не растворяется и не смешивается с жидкостью *A*, но хорошо растворяет в себе компонент *B*, то компонент *B* будет переходить в растворитель. Концентрация компонента *B* в жидкости *A* при этом будет уменьшаться. В реальных условиях компонент *B* не полностью перейдет в экстрагент *D*. Какая-то часть его останется в жидкости *A*. Т.О., компонент *B* будет находиться в жидкости *A* и в экстрагенте *D*. В качестве разбавителей используют, как правило, жидкости (керосин, бензол, хлороформ и др.) либо их смеси, которые в исчерпываемой фазе практически нерастворимы и инертны по отношению к извлекаемым компонентам раствора. Иногда к разбавителям добавляют модификаторы, повышающие растворимость экстрагируемых компонентов в извлекающей фазе или облегчающие расслаивание фаз (спирты, кетоны, трибутилфосфат и т.д.).

Распределение компонента *B* в жидкости *A* и в экстрагенте *D* характеризуется следующим соотношением

$$\varphi = c_D / c_A , \quad (14.1)$$

где  $\varphi$  - коэффициент распределения, определяемый опытным путем и зависящий от свойств жидкой системы, температуры и концентрации,  $c_D$  - концентрация компонента *B* в растворителе *D*, кг/кг,  $c_A$  - концентрация компонента *B* в жидкости *A*, кг/кг.



Эффективность экстрагирования увеличивается с повышением значения  $\varphi$ . Оно должно быть больше единицы. На практике принято считать, что если  $\varphi$  незначительно превышает 1, то экстрагент подобран неправильно.

Существует понятие степень экстракции. Степень экстракции (процент экстракции) - это отношение количества экстрагированного вещества к общему (начальному) количеству этого вещества в водном растворе:

$$R = \frac{A \cdot 100}{N}, \quad (14.2)$$

где  $R$  - степень экстракции вещества, %;  $A$  - количество вещества, которое экстрагировалось органическим растворителем;  $N$  - общее (начальное) количество вещества в водном растворе.

Количество вещества  $A$ , которое экстрагируется органическим растворителем, можно определить экспериментальным путем, применив соответствующий метод количественного определения. Зная начальное количество вещества и количество этого вещества, перешедшего в органический растворитель, рассчитывают степень экстракции.

Степень экстракции вещества можно определить не только экспериментальным путем, но и путем соответствующих расчетов, зная константу или коэффициент распределения вещества, а также отношение объемов водной фазы и фазы органического растворителя. Степень экстракции с указанными величинами связана следующим соотношением:

$$R = \frac{P_0 \cdot 100}{P_0 + V_B/V_O}, \quad (14.3)$$

где  $R$  - степень экстракции;  $P_0$  - константа распределения;  $V_B$  - объем водной фазы, мл;  $V_O$  - объем фазы органического растворителя, мл.

В формуле (14.3) отношение объема водной фазы к объему фазы органического растворителя заменяют величиной  $r$ :

$$r = V_B/V_O, \quad (14.4)$$

Объем органического растворителя, необходимого для экстракции, рассчитывают по формуле

$$V_O = V_B/r, \quad (14.5)$$

После соответствующего преобразования формулы (14.3) степень экстракции рассчитывают по уравнению

$$R = \frac{P_0 \cdot 100}{P_0 + r}, \quad (14.6)$$

Из формулы (14.6) можно рассчитать величину  $r$ :

$$r = \frac{P_0 \cdot (100 - R)}{R}, \quad (14.7)$$

Если известна степень экстракции  $R$  и отношение объемов фаз  $r$ , то константу распределения  $P_0$  можно рассчитать при помощи следующего уравнения:

$$P_0 = \frac{R \cdot r}{100 - R}, \quad (14.8)$$

На основании числовых значений константы распределения и степени экстракции можно рассчитать ряд других количественных характеристик процессов экстракции.

Основные требования к промышленным экстрагентам: высокая избирательность; высокая экстракционная емкость по целевому компоненту; низкая растворимость в рафинате; совместимость с разбавителями; легкость регенерации; высокая химическая, а в

ряде случаев и радиационная стойкость; негорючесть или достаточно высокая температура вспышки (более 60 °С); невысокая летучесть и низкая токсичность; доступность и невысокая стоимость.

Требования, предъявляемые к органическим растворителям для экстракции. К органическим растворителям, применяемым для экстракции, предъявляется ряд требований.

1. Органический растворитель должен хорошо извлекать исследуемое вещество из водной фазы.

2. Желательно, чтобы применяемый растворитель был избирательным или селективным. Он должен извлекать из растворов только одно вещество или группу родственных соединений.

3. Растворитель должен иметь незначительную растворимость в воде, а вода не должна заметно растворяться в этом растворителе.

4. Органический растворитель по возможности не должен быть низкокипящим. Температура кипения растворителя должна быть выше 50 °С. Низкокипящие органические растворители даже при комнатной температуре быстро улетучиваются.

5. Плотность органических растворителей по возможности должна отличаться от плотности воды и водных растворов. При большой разности плотностей указанных жидкостей разделение фаз происходит быстро.

6. Растворители не должны быть огнеопасными или ядовитыми.

### 3 ВОПРОС

Под экстрагированием в системе твердое тело – жидкость понимаются процессы растворения, выщелачивания, а также непосредственно процесс экстрагирования, в результате проведения которых извлекается один или несколько целевых компонентов из твердой фазы на основе их избирательной растворимости в жидком растворителе. Процесс проходит через следующие стадии:

1) подвод экстрагента (растворителя) к поверхности раздела твердой и жидкой фаз;

2) перенос экстрагента к целевому компоненту, находящемуся в твердом материале;

3) взаимодействие растворителя в результате проведения химической реакции или физического растворения с извлекаемым компонентом;

4) перенос извлеченного компонента к границе раздела твердой и жидкой фаз;

5) отвод целевого компонента в ядро потока растворителя (экстрагента).

При экстрагировании растворимых веществ из ткани растительного сырья обычно не все перечисленные выше стадии имеют место, либо не все играют существенную роль.

Механизм экстрагирования зависит от того, в каком фазовом состоянии находится извлекаемый ценный компонент в твердом теле-носителе. Эффективность процесса экстрагирования из твердого продукта обеспечивают следующие основные условия:

1. Правильный выбор типа растворителя. Растворитель должен извлекать из продукта только нужный компонент без посторонних примесей. Экстрагент не должен вызывать коррозии аппаратуры. Растворитель должен полностью удаляться из экстрагируемого продукта. (В пищевой промышленности в качестве экстрагента используют воду, бензин, этиловый спирт, ацетон, дихлорэтан).

2. Достижение необходимой степени измельчения продукта, что приводит к увеличению поверхности контакта его с экстрагентом. Желательно, чтобы размер частиц был одинаковым.

3. Создание оптимальных температурных условий. Повышение температуры продукта приводит к увеличению скорости внутренней диффузии и интенсификации всего процесса экстрагирования.

4. Создание нужного давления. Повышение давления приводит к увеличению выхода экстрагируемых веществ, но следует помнить, что повышение давления приводит к необходимости использования сложной, герметически закрытой и прочной аппаратуры.

5. Достаточное количество растворителя. Используемое количество экстрагента должно быть оптимальным, т.е. если его будет слишком много, то возможно экстрагирование примесей. Если экстрагента будет меньше, то экстрагируемый компонент не будет полностью извлечен, что приведет к нежелательным потерям сырья.

6. Соблюдение оптимальной продолжительности процесса экстрагирования. При увеличении продолжительности процесса повышается выделение экстрагируемого компонента, но понижается производительность процесса.

Продолжительность процесса определяется скоростью процесса, которая зависит от большого числа параметров – от формы нахождения извлекаемого компонента, характера взаимодействия твердого носителя с извлекаемым компонентом, различия в избирательной способности экстрагента по отношению к компонентам, содержащимся в твердой фазе, от кинетики процесса, которая определяется скоростью протекания самой медленной стадией – подвода и отвода растворителя и экстрагированного ценного компонента, от структуры пористого материала.

#### 4 Вопрос

Известно множество конструкций экстракторов для систем жидкость – жидкость, обусловленных различием режимов технологических процессов.

Эффективность работы аппаратов при прочих равных условиях зависит от совершенства контактирования жидкой исходной смеси и экстрагента, а также от четкости разделения полученной гетерогенной смеси на экстракт и рафинат. Большая поверхность контакта достигается диспергированием одной из жидких фаз (экстрагента или исходной смеси), а четкость разделения (расслоения) – обособленными гравитационными отстойниками, совмещением специальных расслаивающих устройств со смесительными в одном корпусе, созданием центробежных сил. К экстракторам предъявляются требования: высокая удельная производительность, простота и надежность конструкции, малая металлоемкость, низкий расход энергии.

Экстракторы делят на аппараты периодического и непрерывного действия Их классифицируют по способу контакта взаимодействующих потоков (фаз) на две большие группы.

Простейшим одноступенчатым смесительно-отстойным экстрактором является аппарат с мешалкой (рисунок 14.1).

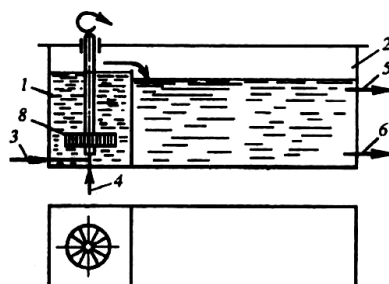


Рисунок 14.1 – Одноступенчатый смесительно-отстойный экстрактор с совмещенными камерами

1 – смесительная камера; 2 – отстойная камера; 3 – исходная смесь;  
4 – экстрагент; 5 – экстракт; 6 – рафинат; 8 – турбинная мешалка.

Рассмотрим схему процесса экстракции однократного контакта (рисунок 14.2).

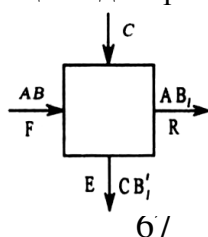


Рисунок 14.2 – Схема однократного контакта

А – жидкость, в которой растворено экстрагируемое вещество; С – растворитель (экстрагент);  
 Е – экстракт; В – экстрагируемое вещество; R – рафинат; F – исходная смесь; АВ – состав  
 исходной смеси (F) на входе в аппарат; АВ<sub>1</sub> – состав рафината (R); СВ'<sub>1</sub> – состав экстракта (E)

В результате однократного контакта образуются два слоя: экстрактный и рафинатный, содержащий меньшее количество компонента В, чем исходная смесь F. Если рафинат удалить из аппарата и вновь обработать его свежим растворителем, то при этом содержание компонента В в рафинате будет еще меньше.

Рассмотрим схему многократного контакта (рисунок 14.3).

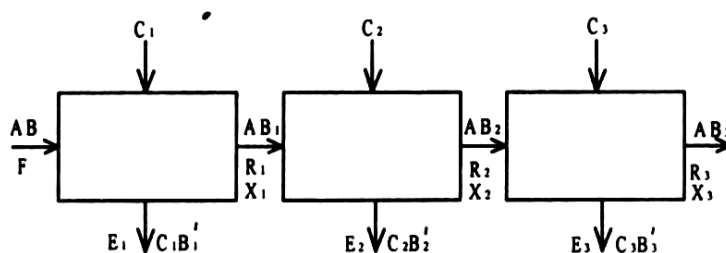


Рисунок 14.3 – Схема многократного контакта с подачей свежего растворителя в каждую степень

А – жидкость, в которой растворено экстрагируемое вещество; С – экстрагент; В – экстрагируемое вещество; Е – экстракт; R – рафинат; F – исходная смесь.

Аппаратурное оформление процесса экстрагирования в системах твердое тело-жидкость определяется физическими свойствами перерабатываемого твердого материала и экстрагента – размерами частиц, их механической прочностью, размерами пор и характером распределения в них извлекаемого вещества, плотностью жидкой и твердой фаз. Имеет значение учет требований к степени обработки материала, к выходной концентрации экстракта.

К конструкциям аппаратов предъявляются следующие требования:

1. высокая производительность на единицу рабочей вместительности аппарата;
2. высокая концентрация образующегося раствора;
3. низкий расход энергии.

Аппараты можно классифицировать по направлению движения экстрагента и твердой фазы (противоточные, прямоточные и комбинированные), характеру циркуляции растворителя (с однократным прохождением, с рециркуляцией и оросительные), параметрами процесса (работающие под атмосферным давлением, под вакуумом или под избыточным давлением), свойствам обрабатываемого твердого материала (для тонкодисперсных, мелкодисперсных, крупнозернистых, пастообразных, волокнистых и др.), гидродинамическому характеру процесса (с неподвижным, движущимся, взвешенным или псевдооживленным слоем твердой фазы).

### 3 вопрос

**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.

При расчете процессов ректификации принимается, что:

1) при конденсации 1 кмоль пара испаряется 1 кмоль жидкости, следовательно, количество пара, движущегося в ректификационной колонне, одинаково в любом ее сечении;

2) при конденсации пара в дефлегматоре не происходит изменения состава пара, следовательно, состав пара, уходящего из ректификационной колонны, равен составу дистиллята ( $y_d = x_d$ );

3) при испарении жидкости не происходит изменения ее состава, следовательно, состав пара, образующегося при испарении, равен составу кубового остатка ( $y_w = x_w$ ).

Процесс ректификации иллюстрируется  $t - x, y$  - диаграммой (рисунок 15.9). При нагревании жидкой смеси состава  $x_1$  до температуры кипения  $t_1$  получим пар равновесного состава, после конденсации которого образуется жидкость состава  $x_2$ , обогащенная легколетучим компонентом. В результате последующего нагревания этой жидкости до температуры кипения  $t_2$  и конденсации паров получают жидкость состава  $x_3$ . Таким образом, проводя многократное испарение жидкости и конденсацию паров, можно разделить исходную смесь на чистые легколетучий и труднолетучий компоненты.

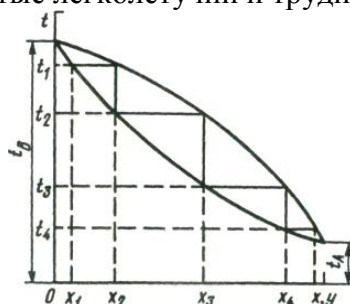


Рисунок 15.9 -  $t-x, y$ -диаграмма

Материальный и тепловой балансы ректификации составляют по принципиальной схеме (рисунок 15.10). В колонну ректификационной установки поступает исходная смесь, которая разделяется в результате ректификации на дистиллят и кубовый остаток. Выходящие из колонны пары конденсируются в дефлегматоре и попадают в сосуд 3, где разделяются на две части: одна часть, так называемая флегма  $\Phi$ , направляется на орошение колонны, а другая отбирается в виде продукта — дистиллята.

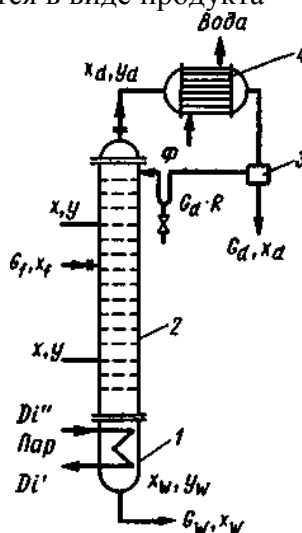


Рисунок 15.10. - К составлению материального и теплового балансов ректификации:  
1 - куб; 2 - колонна; 3 - разделительный стакан; 4 - дефлегматор

Материальный баланс описывается следующими уравнениями:

$$G_f = G_d + G_w \quad (15.13)$$

по легколетучему компоненту

$$G_f x_f = G_d x_d + G_w x_w \quad (15.14)$$

где:  $G_f$ ,  $G_d$ ,  $G_w$  - массы соответственно смеси, поступающей на ректификацию, дистиллята и получаемого остатка, кмоль;  $x_f, x_d, x_w$  - концентрации легколетучего компонента соответственно в исходной смеси, дистилляте и в остатке, мольные доли.

Из уравнений (15.13) и (15.14) определяют массы дистиллята и кубового остатка:

$$G_d = G_f \frac{x_f - x_w}{x_d - x_w} \quad (15.15)$$

$$G_w = G_f \frac{x_d - x_f}{x_d - x_w} \quad (15.16)$$

Отнесем массы исходной смеси, кубового остатка и флегмы к 1 кмоль дистиллята и обозначим:  $G_f/G_d = F$ ;  $G_w/G_d = W$ ;  $\Phi/G_d = R$ .

Последнее отношение называется флегмовым числом.

Тарелка питания разделяет ректификационную колонну на две части: верхнюю, или укрепляющую, и нижнюю — исчерпывающую.

Составим уравнение материального баланса для верхней и нижней частей колонны на основании общего уравнения

$$G dy = L (-dx). \quad (15.17)$$

Количество жидкости, стекающей в укрепляющей части колонны,  $L = RG_d$ .

Количество паров, поднимающихся по колонне,

$$G = G_d + \Phi = G_d + RG_d = G_d(1 + R) \quad (15.18)$$

Для укрепляющей части колонны запишем

$$(R + 1)dy = R(-dx); \quad (15.19)$$

для исчерпывающей части

$$(R + 1)dy = (F + R)(-dx). \quad (15.20)$$

Запишем уравнение (15.19) для произвольного сечения верхней части колонны, где концентрации  $x$ ,  $y$ , и верхнего, где концентрации  $x_d$ ,  $y_d$ , причем согласно принятому допущению  $x_d = y_d$ :

$$(R + 1)(y_d - y) = (R + 1)(x_d - x) = R(x_d - x),$$

откуда

$$y = \frac{R}{R + 1} x + \frac{x_d}{R + 1} \quad (15.21)$$

Для произвольного сечения нижней части колонны, где концентрации  $x$  и  $y$ , и куба, где концентрации жидкости и пара  $x_w$  и  $y_w$ , из уравнения (15.20) с учетом, что  $x_w = y_w$ , найдем

$$(R + 1)(y - y_w) = (R + 1)(y - x_w) = (F + R)(x - x_w) \quad (15.22)$$

и

$$y = \frac{R + F}{R + 1} x - \frac{F - 1}{R + 1} x_w$$

Зависимости (15.21) и (15.22) представляют собой прямые линии. В уравнении (15.21)  $R/(R + 1)$  - тангенс угла наклона рабочей линии к оси абсцисс,  $ax_d/(R + 1)$  - отрезок, отсекаемый рабочей линией на оси ординат диаграммы  $y - x$  (рисунок 15.11).

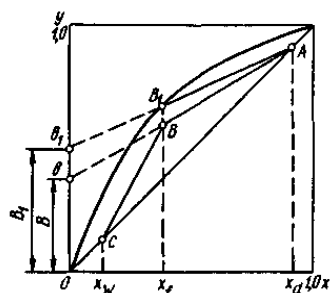


Рисунок 15.11. - Построение рабочих линий ректификации

Уравнения (15.21) и (15.22) являются уравнениями рабочих линий для укрепляющей и исчерпывающей частей ректификационной колонны.

В случае периодической ректификации процесс описывается рабочей линией для верхней исчерпывающей части колонны.

Из уравнения (15.19) для сечения колонны по тарелке питания ( $x_f, y_f$ ) и верха колонны ( $x_d, y_d$ ) получим

$$(R + 1)(x_d - y_f) = R(x_d - x_f), \quad (15.23)$$

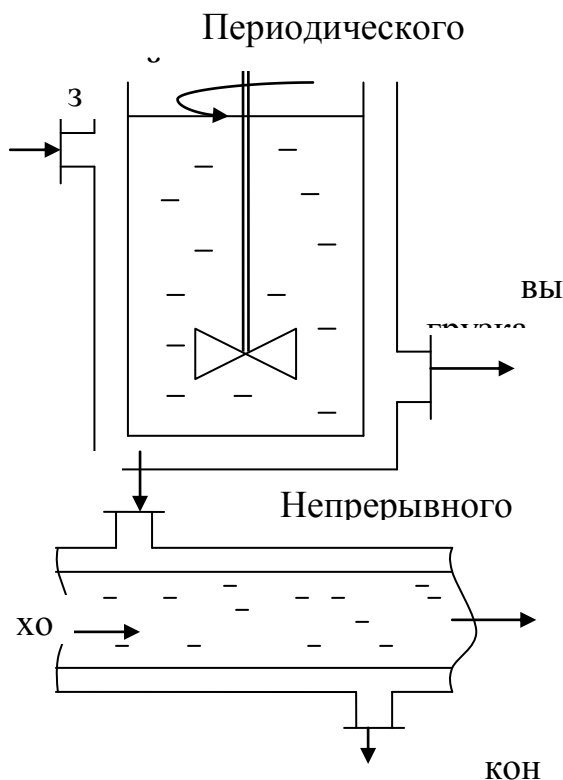
откуда

$$R = \frac{x_d - y_f}{y_f - x_f}. \quad (15.24)$$

#### 4 вопрос

Технологический процесс может быть осуществлен при различных параметрах. При этом затраты энергии, скорость процессы, а, следовательно выход продукции, затраты живого труда, материал различны. Совершенствование производства направлено на поиск таких режимов, при которых затраты были бы наименьшими, а выход – наибольшим. Такой поиск называется **оптимизацией**, а режим работы аппарата в наилучших условиях называется **оптимальным**.

Для оценки эффективности процесса на основании экспериментальных и теоретических исследований выводится критерий оптимизации, куда входят параметры, противоположно влияющие на процесс. Оптимизация при этом будет означать поиск компромисса между этими параметрами.



Каждый процесс может быть периодическим или непрерывным. Периодические процессы производятся в аппаратах, в которые через определенные промежутки времени загружаются исходные материалы, а после их обработки в течении времени необходимого для процесса из этих аппаратов выгружают конечный продукт после разгрузки аппарат вновь загружают и процесс повторяется, т.о. периодический процесс характеризуется тем, что все его стадии протекают в одном месте но в различном промежутке времени.

Непрерывный процесс осуществляется в проточных аппаратах при этом поступление исходных продуктов, и выгрузка готового продукта

происходит одновременно. Процесс характеризуется тем, что все его стадии протекают в одно время, но разобщены в пространстве.

Непрерывный процесс отличается от периодического по распределению времени пребывания частиц в аппарате. В периодическом аппарате все частицы находятся одинаковое время, в непрерывном аппарате – это время может существенно различаться.

Для промышленных производств наиболее предпочтительны непрерывные процессы. Это и более высокая производительность соответствующих аппаратов, и снижение затрат на автоматизацию управления процессом и постоянство качественных показателей выходящей продукции. При периодической работе аппарата возникают большие потери теплоты и механической энергии. Это связано с остановкой аппарата для его загрузки, а затем с пуском его в работу и выводом на рабочий режим.

В каждом непрерывном процессе можно по-разному организовать движение взаимодействующих потоков. Можно направить потоки навстречу друг другу – противоток, можно в одном направлении – прямоток, можно организовать перекрестное движение. В большинстве случаев приемлем противоток.

Интенсивность процесса переноса зависит также от площади поверхности, через которую происходит перенос. Если взаимодействующие потоки перемешиваются друг с другом, то интенсивность тем выше, чем чаще встречаются друг с другом свежие, ранее не вступавшие в контакт. Процесс тем лучше, чем выше турбулизация потоков и скорость их движения.

Оптимизация процесса предполагает также максимальную утилизацию теплоты, поэтому покидающие аппарата потоки, имеющие высокую температуру, могут быть использованы для подогрева других потоков, участвующих в производстве.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое сушка?
2. Какие виды сушки вы знаете?
3. Что такое экстракция?
4. Какими свойствами должны обладать экстрагенты?
5. Опишите процесс экстракции в системе «жидкость-жидкость».
6. Из каких стадий состоит процесс экстракции в системе «твердое тело-жидкость».
7. Какая аппаратура применяется для проведения процесса экстракции?
8. Опишите схему процесса экстракции путем однократного контакта.
9. Опишите схему процесса экстракции путем многократного контакта.
10. Требования, предъявляемые к органическим растворителям для экстракции.
11. В чем заключается процесс ректификации?
12. Какие допущения принимают при расчете процессов ректификации?
13. Как определяют рабочее флегмовое число?
14. В чем заключается принцип оптимизации процессов

#### Список литературы

##### Основная

9. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
10. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6



11. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 2 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 608 с. ISBN 978-5-98879-051-8

12. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

#### Дополнительная

5. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.

6. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

## МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

### Вопросы.

1. Сорбционные процессы.
2. Аппаратурное оформление процессов.

#### 1 вопрос

Адсорбцией называется процесс поглощения газов или парообразных смесей жидкими поглотителями (абсорбентами), т.е. имеет место переход вещества из газовой или паровой фазы в жидкую.

Физическая абсорбция в большинстве случаев обратима. На этом свойстве абсорбционных процессов основано выделение поглощённого газа из раствора - десорбция.

На поверхности раздела двух фаз помимо адсорбции, обусловленной в основном физическими взаимодействиями (главным образом это Ван-дер-Ваальсовы силы), может идти химическая реакция. Этот процесс называется хемосорбцией. Чёткое разделение на адсорбцию и хемосорбцию не всегда возможно. Одним из основных параметров по которым различаются эти явления является тепловой эффект: Так, тепловой эффект физической адсорбции обычно близок к теплоте сжижения адсорбата, тепловой эффект хемосорбции значительно выше. Кроме того в отличие от адсорбции хемосорбция обычно является необратимой и локализованной. Примером промежуточных вариантов, сочетающих черты и адсорбции и хемосорбции является взаимодействие кислорода на металлах и водорода на никеле: при низких температурах они адсорбируются по законам физической адсорбции, но при повышении температуры начинает протекать хемосорбция.

Абсорбция (лат. *absorptio* от *absorbere* — поглощать) — поглощение сорбата всем объёмом сорбента. Является частным случаем сорбции.

В технике и химической технологии чаще всего встречается абсорбция (поглощение, растворение) газов жидкостями. Но известны и процессы абсорбции газов и жидкостей кристаллическими и аморфными телами (например, абсорбция водорода металлами, абсорбция низкомолекулярных жидкостей и газов цеолитами, абсорбция нефтепродуктов резинотехническими изделиями и т.п.).

Часто в процессе абсорбции происходит не только увеличение массы абсорбирующего материала, но и существенное увеличение его объема (набухание), а также изменение его физических характеристик – вплоть до агрегатного состояния.

На практике абсорбция чаще всего применяется для разделения смесей, состоящих из веществ, имеющих различную способность к поглощению подходящими абсорбентами. При этом целевыми продуктами могут быть как абсорбировавшиеся, так и не абсорбировавшиеся компоненты смесей.

Обычно в случае физической абсорбции абсорбировавшиеся вещества могут быть вновь извлечены из абсорбента посредством его нагревания, разбавления неабсорбирующей жидкостью или иными подходящими способами. Регенерация химически абсорбированных веществ также иногда возможна. Она может быть основана на химическом или термическом разложении продуктов химической абсорбции с высвобождением всех или некоторых из абсорбированных веществ. Но во многих случаях регенерация химически абсорбированных веществ и химических абсорбентов бывает невозможной или технологически/экономически нецелесообразной.

Явления абсорбции широко распространены не только в промышленности, но и в природе (пример - набухание семян), а также в быту. При этом они могут приносить как пользу, так и вред (например, физическая абсорбция атмосферной влаги приводит к

набуханию и последующему расслоению деревянных изделий, химическая абсорбция кислорода резиной - к потере ею эластичности и растрескиванию). 2 вопрос.

Аппараты для проведения процессов абсорбции называются абсорберами. Абсорбция протекает по поверхности раздела фаз, поэтому абсорберы должны иметь развитую поверхность контакта фаз между газом и жидкостью. По способу образования этой поверхности абсорберы разделяют:

Схема. Классификация абсорберов.



Рассмотрим некоторые из абсорберов.

Насадочные абсорберы. В них поверхностью контакта фаз является поверхность растекающийся по специальной насадке жидкости. Чтобы насадка работала эффективно, она должна удовлетворять следующим требованиям:

- Оказывать небольшое гидравлическое сопротивление газовому потоку;
- Обладать большой удельной поверхностью;
- Хорошо смачиваться рабочей жидкостью;
- Равномерно распределять жидкость по сечению абсорбера;
- Быть коррозиестойкой по отношению к рабочей жидкости и газу;
- Обладать высокой механической прочностью;
- Быть легкой;
- Иметь невысокую стоимость.

Наиболее распространённой насадкой является керамические кольца Рашига: 15×15×2,5; 25×25×3; 50×50×3 мм.

Барботажные абсорберы. В них поверхность контакта фаз создаётся потоками газа и жидкости.

Распылительные абсорберы. Поверхность контакта фаз создаётся, вследствие разбрызгивания жидкости.

Адсорбция – это процесс поглощения одного или несколько компонентов из газовой смеси твёрдым веществом адсорбентом. Поглощаемое вещество называется адсорбтивом. Этот процесс обратим и называется процессом десорбции.

Процесс адсорбции применяется в промышленности при очистке и осушке газов, очистке и осветлении растворов, разделении смесей газов или паров. Адсорбция применяется для очистки воздуха в противогазах.

В пищевой технологии адсорбцию используют для очистки диффузионного сока и сахарных сиропов, осветлении пива и фруктовых соков, очистки от органических и других соединений спирта, водки, коньяка, вин, сиропов в крахмалопаточном производстве.

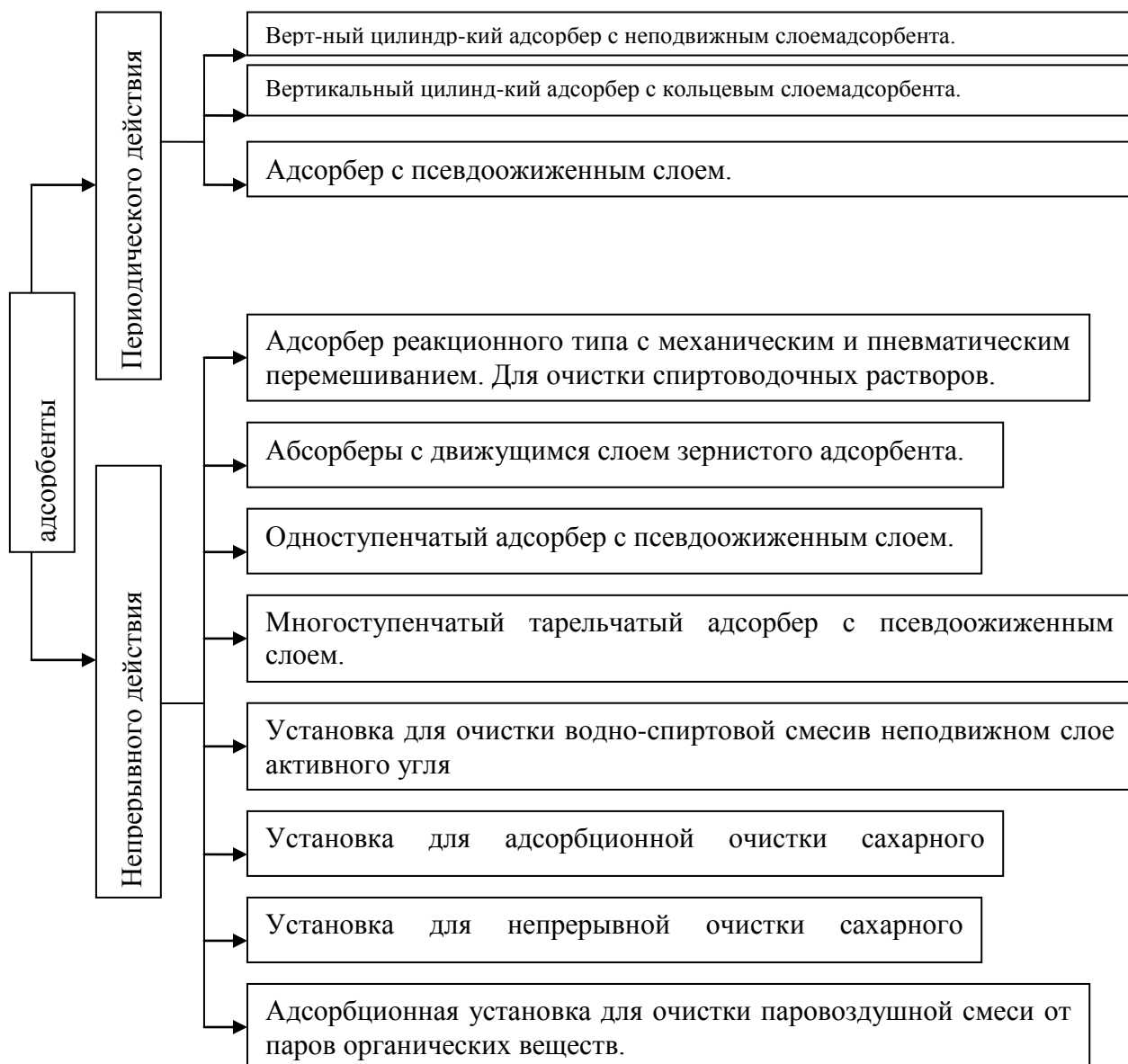
Различают физическую и химическую адсорбцию. Физическая адсорбция имеет место при взаимном притяжении молекул адсорбтива и адсорбента под действием сил Ван-дер-Ваальса. При физической адсорбции не возникает химического взаимодействия адсорбированного газа с адсорбентом.

В пищевых производствах широко используют следующие адсорберы:

- Активные угли – получают сухой перегонке из дерева, торфа, костей. Активирование проводят при прокаливании углей при температуре свыше 900 °С. Обычно применяют для очистки промышленных газовых выбросов. В спиртовом производстве применяют для извлечения из сортировки (смесь спирта и воды) и спирта-ректификата альдегидов, сложных эфиров, карбоновых кислот. Также уголь извлекает глюкозу, осветляет пиво и т.д.
- Силикагели – продукты обезвоживания геля кремниевой кислоты. Их используют для очистки воздуха, осветления пива и фруктовых соков.
- Глины и другие природные глинистые адсорбенты – бентонитовые глины (в них входят:  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{CaO}$ ;  $\text{MgO}$  и другие оксиды металлов).

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

#### Классификация адсорбентов



## Вопросы для самоконтроля

1. Что такое абсорбция?
2. Что такое десорбция?
3. Что такое адсорбция?
4. Какие адсорберы широко используют в пищевых производствах?
5. Как можно классифицировать адсорберы?

## Список литературы

### Основная

13. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
14. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6
15. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 2 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 608 с. ISBN 978-5-98879-051-8
16. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

### Дополнительная

7. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.
8. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

## НЕТРАДИЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

### Вопросы.

1. Физические, химические, электрофизические методы обработки пищевых продуктов.
2. Процессы с использованием электротока высокой и сверхвысокой частоты.

Главной задачей, стоящей перед отраслями пищевой промышленности, в том числе мясной, является удовлетворение спроса населения продуктами питания.

Решить данную проблему возможно:

- путем увеличения количества вырабатываемой продукции и сокращения потерь сырья на стадиях переработки;
- путем совершенствования процессов переработки самого сырья.

В области переработки сырья решить проблему увеличения качества продукции можно путем:

- уменьшения потерь сырья;
- увеличения выхода готовой продукции;
- повышения биологической ценности продуктов;
- сокращения длительности технологических процессов и др.

Однако реализовать эти возможности в полной мере на основе традиционных методов обработки пищевых продуктов либо чрезвычайно затруднительно, либо совсем невозможно. Это связано с тем, что традиционно используемые методы в своем развитии достигли совершенства, что является первопричиной необходимости поиска новых эффективных методов обработки.

Так, например, для тепловых процессов, как то размораживание, варка, бланшировка, стерилизация и др., определяющим параметром является разность температур, увеличение которой при обработке пищевых продуктов не может быть бесконечным, так как в области высоких температур продукты подвергаются значительным изменениям, таким как потеря биологической ценности, низкий выход (потеря влаги) и т.д.

Следующей причиной является ограниченность запасов традиционных видов топлива (угля, нефти, газа), которые являются пока основными источниками энергии для большинства технологических процессов (получение пара, горячей воды и т.д.), а также переход отраслей народного хозяйства на новый вид источника энергии - электрическую энергию.

Последняя причина является более важной, она заставляет искать новые пути решения в области переработки пищевого сырья.

В настоящее время баланс выработки различных видов энергии представляет собой следующее:

- 80 % энергии идет на получение промышленной и бытовой;
- 20 % - только для получения электрической энергии.

При этом в качестве основных источников для получения этих энергий используется уголь, нефть, природный газ, незначительная доля торфа, сланца, а также электрическая энергия на атомных и гидростанциях и др.

Резкое увеличение объемов потребления нефти, газа, угля привело к истощению их запасов. И в настоящее время разведанных запасов нефти, газа хватит всего на несколько десятилетий, а угля на сто лет.

Следовательно, объективным фактором является то, что в технологических процессах производства более широкое применение будет находить электрическая энергия и способы, которые основаны на использовании электрической энергии.

Под электротехнологией принято понимать обработку пищевых материалов (продуктов) в электрическом, магнитном, электромагнитном полях, электрическим током, электрическими зарядами и т.д., основанную на использовании электромагнитных и оптических свойств этих материалов.

Пищевое сырье, продукты, в том числе мясо, по своей физической природе обладают определенными электрофизическими свойствами:

- электропроводимостью;
- диэлектрической и магнитной проницаемостью;
- оптическими характеристиками.

Эти свойства проявляются при воздействии на материал (вещество) электрическим, магнитным и электромагнитным полями.

В результате этих воздействий происходят изменения в состоянии электрических зарядов данной среды, что приводит к выделению теплоты в веществе и одновременно к изменению физических и химических свойств.

Электротехнологию принципиально отличает то, что электричество используется непосредственно в технологических процессах для обработки продуктов, исключая какие бы то ни было превращения.

Возможность применения электрической энергии в различных ее формах позволило создать принципиально новые, так называемые электрофизические методы для обработки пищевых продуктов, такие как:

- обработка пищевых продуктов в электростатическом поле;
- обработка пищевых продуктов электрическим током промышленной частоты, токами высокой частоты;
- обработка пищевых продуктов в электромагнитном поле токами высокой и сверхвысокой частоты.

Новые электрофизические методы обработки пищевых продуктов обладают рядом преимуществ:

1. Сокращается длительность технологических процессов в 5-60 раз.
2. Повышается производительность труда.
3. Сохраняется пищевая ценность продукта.
4. Осуществляется высокое бактерицидное действие обработки.
5. Снижаются тепловые потери в окружающую среду.
6. Возможна автоматизация технологического процесса.
7. Происходит безинерционность работы оборудования.
8. Имеют высокий КПД использования энергии.
9. Улучшаются санитарно-гигиенические условия производства.
10. Снижаются производственные затраты на 20-40 %.

Недостатки:

1. Требование повышенной энергобезопасности оборудования.
2. Трудность проведения дозиметрического контроля за уровнем облучения.
3. Возможность возникновения температурной неоднородности внутри продукта при нагреве.
4. Наличие квалифицированного персонала.

Многообразие новых методов обработки потребовало и их системности, упорядочения, что позволило бы их рассматривать во взаимосвязи.

Так, авторами И.А. Роговым и А.В. Горбатовым в 1974 г. была предложена классификация электрофизических и физических методов обработки пищевых продуктов различными энергетическими полями (таблица 1.1) [4].

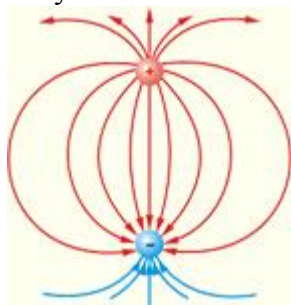
Предложенная классификация базируется на основных положениях механики сплошной среды при различной интенсивности воздействия поля на продукт, основой которой является непрерывность спектра электромагнитных волн.

В этой связи авторами в предлагаемой классификации используются два показателя:

- длина волн как показатель, характеризующий действующий фактор;
- энергия кванта как показатель, характеризующий возможность химических превращений.

В предложенных классификациях не рассматриваются вообще некоторые физические методы, имеющие иную природу, как то ультразвук и ряд других, которые можно условно отнести к электрофизическим методам.

**Электрофизические процессы** обработки материалов и пищевых продуктов основаны на непосредственном воздействии на материал электрического тока в сочетании с механическим воздействием, а также с использованием электромагнитной энергии излучения.



К электрофизическим методам относят обработку:

1. переменным электрическим током;
2. в электростатическом поле;
3. электроконтактную;
4. высокочастотную;
5. сверхвысокочастотную;
6. инфракрасным излучением.

Иногда применяют комбинированные методы. Например, на первых стадиях мясо обрабатывают сверхчастотным методом, а на завершающей стадии жаренья – инфракрасным излучением.

**Электрофизические методы** обработки широко применяются в различных отраслях промышленности. К преимуществам их относятся высокая скорость процесса и компактность промышленных устройств, к недостаткам – относительная сложность и высокая стоимость промышленных устройств.

Сущность *обработки в электростатическом поле* состоит в том, что ионизированный газ, перемещаясь в электрическом поле, сообщает заряд тонкодисперсным частицам вещества (копильный дым, пыль и др.), которые приобретая заряд, также совершают упорядоченное направленное движение от одного электрода к другому. Используют этот метод для электрокопчения, электроочистки газов, электросепарирования и др.

*Электроконтактные методы обработки* осуществляются путем непосредственного контакта электрического тока с продуктом. Применяются эти методы для нагрева, электроплазмолиза растительного сырья, электростимуляции.

Сущность электроконтактного нагрева состоит в том, что электрический ток, проходя через продукт, нагревает его. Этот метод весьма эффективен при размораживании мясных и рыбных блоков. Методом электроконтактного нагрева создан новый процесс – электрокоагуляции – кратковременный нагрев продукта. Например, нагрев колбасного фарша в течение 15–16 с в диэлектрической форме до +50...70 °С позволяет улучшить консистенцию фарша, сохранить форму при дальнейшей обработке.

Эффективной электроконтактной обработкой растительного сырья является *электроплазмолиз*. Воздействие электрического тока на растительную клетку увеличивает проницаемость протоплазменной оболочки клетки и способствует повышению сокоотдачи. Для электроплазмолиза используют электроплазмоллизаторы самых разнообразных конструкций: валковый, шнековый, центробежный и др.

В основу процесса *электростимуляции* положено явление механического сокращения мышечных волокон мяса под действием электрического тока, что способствует ускорению процесса созревания мяса.



Для проведения электростимуляции разработаны различные генераторы с регулированием частоты следования импульсов.

#### Методы обработки

Высокочастотный и сверхвысокочастотный методы обработки являются принципиально новыми методами нагрева продукта в поле электромагнитного излучения. В отличие от всех других способов нагрева, при которых тепло воспринимается поверхностью продукта и проникает внутрь за счет теплопроводности, электромагнитное поле ВЧ и СВЧ способно проникать на значительную глубину, что позволяет осуществлять объемный нагрев независимо от теплопроводности.

**Нагрев СВЧ-энергией** в 5–10 раз сокращает продолжительность тепловой обработки, дает возможность обеспечивать равномерный нагрев по всему объему продукта без подгорания и образования корочки, в продуктах полнее сохраняются питательные вещества, улучшаются вкусовые качества приготовленной пищи и санитарно-гигиенические условия труда обслуживающего персонала.

**СВЧ-нагрев** дает возможность приготовить продукт в той упаковке, в которой он представлен для реализации или заложен на хранение (за исключением металлической).

Однако несмотря на многие положительные стороны применение СВЧ-нагрева ограничивается в промышленном масштабе ввиду трудности конструирования СВЧ-установок с учетом обратного влияния размеров, теплофизических свойств объекта на электромагнитное поле, в связи с особыми требованиями к технике безопасности, опасностью для здоровья вследствие облучения сильными источниками электромагнитной энергии.

**Инфракрасное излучение** широко применяется в различных отраслях пищевой промышленности (кондитерской, хлебопекарной, мясной, молочной) как в технологических процессах, так и при выполнении различных качественных и количественных химических анализов.

Инфракрасное излучение используют в основном для нагрева продукта. С помощью инфракрасного излучения продукту можно передавать мощный поток тепла, который проникает вглубь без опасности перегрева поверхности.

В отличие от кондуктивного (контактного) нагрева, при нагреве инфракрасным излучением поверхность продукта остается открытой, с нее идет интенсивное испарение влаги, вызывающее охлаждение поверхностных слоев. Это дает возможность подводить к продукту интенсивный поток тепла до тех пор, пока поверхностные слои не будут чрезмерно обезвожены.

Использование обработки инфракрасным излучением повышает выход готовой продукции, улучшает качество, снижает энергетические затраты.



#### Вопросы для самоконтроля

1. Где применяется инфракрасное излучение?
2. Что такое СВЧ-нагрев?
3. Какими основными электрофизическими свойствамиобладают пищевые продукты?
4. Какими преимуществами обладают новые электрофизические методы обработки пищевых продуктов?
5. Опишите сущность обработки пищевых продуктов в электростатическом поле.

#### Список литературы

##### Основная

17. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
18. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6
19. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 2 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 608 с. ISBN 978-5-98879-051-8
20. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8

#### Дополнительная

9. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.
10. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.

### Библиографический список

#### а) основная литература (библиотека СГАУ)

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 1/ред. В.А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 610 с.- ISBN 978-5-9532-0509-2
2. Машины и аппараты пищевых производств: в 3 кн. Кн. 3/ред. В.А. Панфилов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: КолосС, 2009. - 551 с. ISBN 978-5-9532-0754-6
3. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 1 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 704 с. ISBN 978-5-98879-041-9
4. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 2 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 608 с. ISBN 978-5-98879-051-8
5. Виртуальный лабораторный практикум по курсу "Процессы и аппараты пищевых производств" : учеб. пособие для студ. вузов по спец. 240902 "Пищевая биотехнология"; рек. УМО / Г. В. Алексеев, И. И. Бриденко, Н. И. Лукин. - СПб. : Лань, 2011. - 143 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1135-1
6. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8
7. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика : учебник / Д. В. Штеринлихт. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : КолосС, 2007. - 655 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0595-5

#### б) дополнительная литература

1. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.
2. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / В.И. Горбатюк. - М.: Колос, 1999. - 330 с.
3. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник/Ю.В. Космодемьянский. - Б. м.: б. и., 1997. – 208 с.

в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Google:

- Электронная библиотека СГАУ - <http://library.sgau.ru>  
<http://www.fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов.

Содержание	
<b>Введение</b> .....	<b>3</b>
<b>Тема 1</b> .....	<b>3</b>
<b><i>Основные понятия и законы процессов</i></b>	
1.1 Основные цели и задачи процессов и аппаратов пищевых производств.	
1.2 Общая характеристика основных законов исследования технологических процессов.	
1.3 Принципы расчета процессов и аппаратов пищевых производств.	
<b>Тема 2</b> .....	<b>10</b>
<b><i>Механические процессы.</i></b>	
2.1 Процессы измельчения пищевых сред. Физические основы процесса.	
2.2 Теория измельчения.	
<b>Тема 3</b> .....	<b>12</b>
<b><i>Механические процессы.</i></b>	
3.1 Процессы сортирования и калибрования и просеивания пищевого сырья. Цели и задачи. Классификация процессов.	
3.2 Аппаратурное оформление процессов.	
<b>Тема 4, 5</b> .....	<b>16</b>
<b><i>Гидромеханические процессы</i></b>	
4.1 Неоднородные системы и методы их разделения.	
4.2 Аппаратурное оформление процесса разделения неоднородных систем.	
5.1 Процессы разделения неоднородных систем «газ – твердое тело». Классификация аппаратов для реализации процесса. Пылеуловители, фильтры, осадители.	
<b>Тема 6</b> .....	<b>25</b>
<b><i>Гидромеханические процессы</i></b>	
6.1 Мембранные процессы. Характеристика мембран.	
6.2 Аппараты для баромембранных процессов. Методика расчета баромембранных процессов	
<b>Тема 7</b> .....	<b>31</b>
<b><i>Гидромеханические процессы</i></b>	
7.1 Мокрое обеспыливание и флотация.	
7.2 Аппаратурное оформление процесса	
<b>Тема 8, 9, 10</b> .....	<b>36</b>
<b><i>Тепловые процессы.</i></b>	
10.1 Классификация и основные закономерности тепловых процессов.	
9.1 Процессы замораживания и размораживания.	
10.1 Специфические тепловые процессы. Интенсификация тепловых процессов.	
<b>Тема 11</b> .....	<b>45</b>
<b><i>Тепловые процессы.</i></b>	
11.1 Устройство теплообменной аппаратуры.	
11.2 Подбор теплообменников	
<b>Лекция 12</b> .....	<b>51</b>
<b><i>Массообменные процессы.</i></b>	
12.1 Основные законы массопередачи.	
12.2 Метод расчета основных параметров массообменных аппаратов	
<b>Лекция 13</b> .....	<b>53</b>
<b><i>Массообменные процессы.</i></b>	
13.1 Сушка. Виды сушки.	
13.2 Ректификация.	
13.3 Экстракция.	
13.4 Методы интенсификации процессов.	
<b>Лекция 14</b> .....	<b>65</b>

***Массообменные процессы.***

14.1 Сорбционные процессы.

14.2 Аппаратурное оформление процессов.

**Лекция 15.....69**

***Нетрадиционные процессы пищевых производств***

15.1 Физические, химические, электрофизические методы обработки пищевых продуктов.

15.2 Процессы с использованием электрического тока высокой и сверхвысокой частоты.

**Библиографический список.....74**