

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Костанайский государственный университет им. А.Байтурсынова
Кафедра технологии переработки и стандартизации

Процессы и аппараты кондитерского производства

Учебно-методический комплекс дисциплины
Специальность 050728-Технология
перерабатывающих производств

Костанай, 2011

Составитель:

Козлов В. И., доцент.

Рассмотрен и рекомендован на заседании кафедры технологии переработки и стандартизации

от _____ 20____ г. протокол № _____

Зав. кафедрой _____ П.Касьянов_

Одобрено методическим советом Аграрно-биологического факультета

от _____ 20____ г. протокол № _____

Председатель

методического совета _____ М.Шепелев.

Содержание УМКД

№ п/п	Перечень документов	Примечание
1	Типовая учебная программа (копия)	Номенклатурная папка № 18-08
2	Рабочая учебная программа дисциплины	
3	Программа обучения по дисциплине (Syllabus) для студента	
4	График выполнения и сдачи заданий по дисциплине	В составе силлабуса
5	Карта учебно-методической обеспеченности дисциплины	
6	Лекционный комплекс (тезисы лекций, иллюстративный и раздаточный материал, список рекомендуемой литературы)	
7	Планы практических (семинарских) занятий	
8	Методические рекомендации по изучению дисциплины	
9	Методические рекомендации и указания по типовым расчетам, выполнению лабораторных работ, расчетно-графических работ, курсовых проектов (работ)	
10	Материалы для самостоятельной работы студентов (наборы текстов домашних заданий, материалы самоконтроля, задания по выполнению текущих видов работ, рефератов и других домашних заданий с указанием трудоемкости и литературы)	
11	Материалы по контролю и оценке учебных достижений обучающихся (письменные контрольные задания, тестовые задания, вопросы к рубежным контролям, экзаменационные билеты и др.)	
12	Программное и мультимедийное сопровождение учебных занятий	
13	Перечень специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	В составе силлабуса
14	УМКД для студентов	В электронном виде на информационно-образовательном портале

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

РГКП «Костанайский

государственный

университет

им. А. Байтурсынова»

Аграрно-биологический
факультет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
новым технологиям обучения

_____Ф.Майер

_____2011 г.

Кафедра технологии переработки и стандартизации

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА
(Syllabus)

дисциплины Процессы и аппараты кондитерских производств

специальность 050728 – Технология перерабатывающих производств

всего кредитов 3

Костанай, 2011

Учебная программа составлена Козловым В.И., доцентом, к.т.н.

____.____. 2011 г.

Рассмотрена и рекомендована на заседании кафедры технологии переработки и стандартизации от _____.____. 2011 г. протокол № ____

Зав. кафедрой _____ П. Касьянов

Одобрена методическим советом аграрно-биологического факультета от _____.____. 2011 г. протокол № ____

Председатель методического совета

М. Шепелев

1. Описание дисциплины:

Данная дисциплина является базовой, компонентом по выбору.

Данная дисциплина формирует профессиональные знания и умения при освоении специальности. Дисциплина «Процессы и аппараты кондитерских производств» дает студенту представление об основных процессах преобразования сырья в пищевую продукцию на основе знаний физики, химии, биологии, теплотехники, механики, гидравлики. Он должен усвоить: основные термины и определения; основные процессы преобразования веществ; машины и аппараты процессов; основы технологических и конструктивных расчетов процессов и аппаратов

Пререквизиты: математика, физика, химия, биология, теплотехника, механика, гидравлика.

Постреквизиты: Общая технология перерабатывающих производств

Цели и задачи дисциплины:

Цель: получить знания о процессах происходящих при производстве кондитерских изделий.

Задачи: изучить основные процессы преобразования веществ при производстве пищевых продуктов; изучить назначение и устройство машин и аппаратов, используемых в этих процессах; научиться основам расчета процессов и аппаратов.

При изучении курса студенты должны

знать

- основы процессов кондитерского производства;
- о современном оборудовании кондитерского производства;

уметь

- использовать методику и технологию проведения испытаний машин;

2 Содержание дисциплины

Тема 1 Предмет «Процессы и аппараты». Основные понятия и определения.

Тема 2 Классификация процессов перерабатывающих производств. Основные законы. Физические свойства сырья.

Тема 3 Гидравлические и гидромеханические процессы.

Тема 4 Аэродинамические процессы.

Тема 5 Тепловые и холодильные процессы.

Тема 6 Массообменные процессы.

Тема 7. Механические процессы

3 Список рекомендуемой литературы

Основная:

1. Плаксин Ю. М. и др. Процессы и аппараты пищевых производств.- 2-е изд., перераб. и доп. – М: КолосС, 2005. – 760 с: ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
2. Кавецкий Г. Д. , Васильев Б. В. Процессы и аппараты пищевой технологии. – 2-е изд. , перераб. и доп. – М: Колос, 2000. – 551 с. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
3. Гинзбург А. С., Гребенюк С. Н. и др. Лабораторный практикум по процессам и аппаратам пищевых производств/ под редакцией Гребенюка С. М. – М: Агропромиздат, 1990. – 256 с.

Дополнительная:

1. Семенов Е. В. Методы расчетов процессов обработки дисперсных систем в мясной и молочной промышленности. – М: Машиностроение, 1989. – 321 с.
2. Липатов Н. Н. Процессы и аппараты пищевых производств. – М: Экономика, 1987. – 272 с.
3. Сколов В. И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств – М: Машиностроение, 1983. – 452 с.

4. Приложение

Программы обучения (Syllabus) для обучающихся по дисциплине «Процессы и аппараты кондитерских производств»

**Приложение к учебной программе
Программа обучения (Syllabus) для обучающегося
на 2011-2012 учебный год дисциплины
РАКР Процессы и аппараты кондитерских производств**

1. Основная информация							
Факультет		Аграрно-биологический					
Специальность		050728-технология перерабатывающих производств					
Курс	4	Семестр	7	Форма об.	очная	Прогр. об.	основная
Цикл дисциплины		БД		Компонент		КВ	
Кол-во кредитов		3		Количество часов		135	
Место проведения занятий		Корпус 5 КГУ АБФ, аудитория 205					
Лектор		Доцент Козлов Владимир Иванович					
Преподаватель		Доцент Козлов Владимир Иванович					
Время консультаций (СРОП инд.)		1-я неделя		2-я неделя		3-я неделя	
2 Пререквизиты и постреквизиты							
Пререквизиты		Физика, математика, теплотехника					
Постреквизиты		Общая технология перерабатывающих производств					
3 Цель и задачи дисциплины							
Цель	Цель дисциплины - получить знания о процессах происходящих при кондитерском производстве						
Задачи	Задача дисциплины - изучить основные процессы преобразования веществ при производстве пищевых продуктов; изучить назначение и устройство машин и аппаратов, используемых в этих процессах; научиться основам расчета процессов и аппаратов.						
4 Распределение академических часов							
Всего		Лек.	Практ.	Лаб.	СРОП	СРО	Форма контроля
3 кредита 135 часов		5	25	15	30	60	Экзамен
5 Содержание дисциплины							
Формирование комплекса теоретических и практических знаний в области изучения процессов при переработке зерна, изучение оборудования, применяемого на перерабатывающих предприятиях.							
6 Политика курса							
За пропуски занятий установлены штрафные баллы (1 – за 1 занятие). Студенту, пропустившему 50% аудиторных занятий, по итогам аттестации выставляется балл равный нулю. При пропуске практического занятия самостоятельно изучить пройденный материал до начала следующего занятия. Не опаздывать на занятия. Строго соблюдать сроки сдачи контрольных работ и заданий, выданных для СРС							
7 Список рекомендуемой литературы							
Основная	1. Плаксин Ю. М. и др. Процессы и аппараты пищевых производств.- 2-е изд., перераб. и доп. – М: КолосС, 2005. – 760 с: ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). 2. Кавецкий Г. Д. , Васильев Б. В. Процессы и аппараты пищевой технологии. – 2-е изд. , перераб. и доп. – М: Колос, 2000. – 551 с. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).						
Дополнительная	1. Семенов Е. В. Методы расчетов процессов обработки дисперсных систем в мясной и молочной промышленности. – М: Машиностроение, 1989. – 321 с. 2. Липатов Н. Н. Процессы и аппараты пищевых производств. – М: Экономика, 1987. – 272 с. 3. Сколов В. И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств – М: Машиностроение, 1983. – 452 с.						

8 Календарно-тематический план

№ недели	Темы лекционных занятий	Часы	Темы практических занятий, виды контроля	Часы	Темы лабораторных занятий	Часы	Темы СРОП, виды контроля	Часы
1 аттестационный период								
1	Предмет «Процессы и аппараты». Основные понятия и определения	1	Изучение машин и аппаратов процессов, тестовый опрос	2			История возникновения и развития дисциплины «Процессы и аппараты», собеседование	2
2			Изучение машин гидромеханических процессов, собеседование	3			Основные положения, определения, формулы гидравлики., тестовый опрос	2
3			Изучение машин и аппаратов гидромеханических процессов, доклад	3			Основные положения, определения, формулы механики., собеседование	2
4	Классификация процессов перерабатывающих производств. Основные законы. Физические свойства сырья.	1	Изучение машин и аппаратов аэродинамических и механических процессов, коллоквиум	2			Основные положения, определения, формулы теплотехники. доклад	2
5			Изучение машин и аппаратов массообменных процессов - собеседование	3			Основные положения, определения, формулы биохимии., коллоквиум	2
6			Гидромеханические процессы, тестовый опрос	3			Машины и аппараты механических процессов, письменная работа	2
7	Гидравлические и гидромеханические процессы	1	Аэродинамические процессы, письменная работа	2			Машины и аппараты гидромеханических процессов, письменная работа	2
8			Механические процессы, коллоквиум	3			Машины и аппараты тепловых процессов, тестовый опрос	2
	Всего часов за 1 аттестацию	3		21				15
2 аттестационный период								
9			Гидравлические и гидромеханические процессы, собеседование	3			Машины и аппараты массообменных процессов, коллоквиум	2
10	Гидравлические и гидромеханические процессы.	1	Основы и принципы построения технологических операций при производстве кондитерских изделий, письменная работа	2			Физические свойства сырья., тестовый опрос	2
11			Тепловые и холодильные процессы, доклад	3			Гидравлические и гидромехагические процессы, письменная работа	2
12			Массообменные процессы, тестовый опрос	3			Гидравлические и гидромеханические процессы, тестовый опрос	2
13	Аэродинамические процессы.	1	Механические процессы, доклад	2			Аэродинамические процессы, собеседование	2
14			Холодильные процессы, собеседование	3			Тепловые и холодильные процессы, тестовый опрос	2
15			Массообменные процессы, коллоквиум	3			Классификация процессов перерабатывающих производств, собеседование	2
	Всего часов за 2 аттестацию	2		19				15
	Итого часов	5		40				30

9 График выполнения и сдачи заданий по дисциплине

Виды занятий	Виды контроля	Форма контроля	Баллы	Недели																Рейтинг					
				1	2	3	4	5	6	7	8	1 атт.**	9	10	11	12	13	14	15	2 атт.**	семестр	итогов.	общий		
Ауди-торная работа	ТК	Собеседование	100		*			*					100	*				*		100					
		Тестовый опрос	100	*					*				100				*				100				
		Письменная работа	100								*			100		*						100			
		Коллоквиум					*					*		100						*		100			
		Доклад				*							100			*		*				100			
СРО		Собеседование	100	*		*							100					*		*	100				
		Письменная работа	100						*	*						*						100			
		Коллоквиум	100					*					100	*								100			
		Тестовый опрос	100		*							*				*		*		*		100			
		Доклад	100				*															100			
Ауд., СРО	РК	Тестовый опрос	100								*		100								100				
		Коллоквиум	100											100						*		100			
	ИК	Компьютерное тестирование	40																	*			40		
		Всего											30								30	60	40	100	

Примечание 1. Обучающийся, набравший по итогам семестра не менее 50% максимального сем рейтинга и набравший по всем видам контроля положительные оценки, допускается к сдаче экзамена. Для получения положительной оценки необходимо на экзамене набрать не менее 50% максимального итогового рейтинга.

Примечание 2. При наличии пропусков **лабораторных, практических** занятий действует система отработок через выполнение и защиту работ по пропущенным занятиям.

Критерии оценки

Традиционная оценка	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Баллы (max = 100 баллов)	90-100	75-89	50-74	0-49

**Все учебные достижения обучающегося оцениваются по 100 балльной шкале за каждое выполненное задание (ответ на занятиях, сдача домашнего задания, выполнение контрольной работы и др.), окончательный итог по аттестации подводится расчетом среднеарифметической суммы всех оценок по видам работы (аудиторной, СРС, РК), затем высчитывается среднеарифметическое значение из трех показателей и умножается на 0,3 (максимальное количество баллов за одну аттестацию 30, за две – 60)

10 Задания на СРО

№ п/п	Тема, задание, виды работ	Кол-во часов	Лит-ра	Форма отчетности	Сроки сдачи, неделя
		Осн.			
1	История возникновения и развития дисциплины «Процессы и аппараты».	3	4	реферат	2
2	Основные положения, определения, формулы гидравлики.	3	1,3	доклад	3
3	Основные положения, определения, формулы механики.	3	6	Устный опрос	4
4	Основные положения, определения, формулы теплотехники.	3	1,3	реферат	5
5	Основные положения, определения, формулы биохимии.	3	1,2	Конспект в тетради	6
6	Машины и аппараты механических процессов.	3	3	Устный опрос	7
7	Машины и аппараты гидромеханических процессов.	3	1,2	Тестовый опрос	8
8	Машины и аппараты тепловых процессов.	3	1,2	конспект	9
9	Машины и аппараты массообменных процессов	0,5	1,3	Доклады	10
Другие виды работ по СРО					
	Подготовка к лекционным занятиям (05 х кол-во зан.)	2,5			
	Подготовка к практическим занятиям (05 х кол-во зан.)	20			
	Подготовка к лабораторным занятиям (05 х кол-во зан.)	-			
	Подготовка к текущим контрольным мероприятиям (1 час х вид контроля)	9			
	Подготовка к рубежному контролю (2 часа х 1РК)	4			
	Итого часов по СРО	60			

Программа составлена Козловым В.И., к.т.н., доцентом
 _____._____. 201_г. _____

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры _____
 протокол от _____._____. 201_г. № ____

Зав. кафедрой

П.Касьянов

Планы практических работ

Тема 1 Изучение машин и аппаратов гидравлических и гидромеханических процессов

Цель: Получить знания о назначении, устройстве и регулировках

План:

- 1 Гидравлические процессы
- 2 Гидромеханические процессы

Литература: 1, с. 1-10

Тема 2 Изучение машин и аппаратов аэродинамических и механических процессов

Цель: Получить знания о назначении, устройстве и регулировках

План:

- 1 Аэродинамические процессы
- 2 Механические процессы

Литература: 1, с. 12-20

Тема 3 Изучение машин и аппаратов тепловых и холодильных процессов

Цель: Получить знания о назначении, устройстве и регулировках. **План:**

- 1 Тепловые процессы
- 2 Холодильные процессы

Литература: 1, с. 1-30; 7, с. 145-200; 7, с.325

Тема 4 Изучение машин и аппаратов массообменных процессов.

Цель: Получить знания о назначении, устройстве и регулировках

План:

- 1 Массообменные процессы

Литература: 11, с. 1-10

Тезисы лекций

Тема 1 Предмет «Процессы и аппараты пищевых производств». Основные понятия и определения.

Цель: Дать общее понятие о предмете. Рассмотреть основополагающие понятия и определения.

План: Предмет курса; определения и понятия.

Пищевая промышленность включает много различных по назначению производств: крахмалопаточное, бродильное, хлебопекарное, производство сахара, мучных кондитерских и макаронных изделий и т. д. К пищевой промышленности относится также производство напитков, различных добавок, табачных изделий, мыла и моющих средств на жировой основе, производство парфюмерной и косметической продукции.

Однако при всем разнообразии технологических процессов в пищевой промышленности многие из них являются общими для различных производств. В любом пищевом производстве встречается перемешивание. Его цель — обеспечить хороший контакт между различными веществами и таким образом интенсифицировать процесс либо растворения, либо химической реакции, либо поглощения одного вещества другим, либо теплообмена и т. д. Во многих производствах (сахарном, кондитерском, консервном и др.) применяют выпаривание для повышения концентрации сухих веществ в растворе, например для обеспечения кристаллизации сахара, глюкозы и фруктозы. При хранении и переработке зерна, в консервном, макаронном, сахарном, кондитерском и во многих других производствах используют сушку.

Таким образом, процессы пищевых производств могут быть разделены на общие и специфические. Приоритет в изучении курса отдается процессам, имеющим общий характер и применимым в нескольких производствах.

Процессы и аппараты, как в пищевых производствах, так и в химической технологии не имеют принципиальных различий. В них используются одни и те же фундаментальные законы и методы расчета оборудования. Тем не менее, специфика, связанная с пищевыми производствами, находит естественное отражение и изложении курса, в методиках расчета ряда процессов и аппаратов, в конструкциях аппаратов и машин.

Под термином *процесс*, который произошел от латинского слова *processus* (продвижение), в изучаемом курсе понимают производственный процесс, когда исходные материалы в результате физического, химического, механического и других воздействий превращаются в пищевые продукты. Эти превращения сопровождаются изменением агрегатного состояния, внутренней структуры и химического состава вещества.

Процессы протекают в *технологических аппаратах* (от латинского слова *apparatus* — прибор, оборудование) или в машинах. Чаще всего аппарат представляет собой емкость, в которой неподвижно располагаются

различные трубы, решетки, полки, кольца, тарелки, сепараторы для отделения капелек жидкости и т. д. Иногда в аппаратах монтируют вращающиеся механизмы для перемешивания жидких сред. В отличие от них *машина* — это механизм с внешним приводом, совершающий рабочими органами те же самые операции, которые выполняет человек подобными орудиями труда для совершения подобной работы.

Машины и аппараты пищевых производств изучаются в данном курсе лишь в ознакомительном плане; основное внимание уделяется теоретическому их описанию. Более подробное изучение оборудования предусматривается в специальных курсах оборудования соответствующих отраслей пищевых производств.

Курсом «Процессы и аппараты пищевых производств» рассматриваются следующие основные вопросы.

1. Изучение теории основных процессов пищевых производств и движущих сил, под действием которых они протекают.

2. Изучение методов расчета аппаратов и машин. Теоретические расчеты позволяют анализировать конкретный процесс, находить его оптимальные параметры и оптимальную конструкцию аппаратов для осуществления процесса.

3. Ознакомление с устройством и принципом действия различных промышленных аппаратов, в которых осуществляются технологические процессы. Это одна из основных задач курса «Процессы и аппараты пищевых производств». Студент должен научиться грамотно изображать принципиальные схемы аппаратов, знать сравнительные характеристики и области рационального применения типовых аппаратов, принципы выбора аппаратов и оптимальных условий их работы, ориентироваться в современных тенденциях при конструировании аппаратов.

4. Изучение закономерностей перехода от лабораторных процессов к промышленным. Знание закономерностей переноса полученных на модели данных на объект натурной величины необходимо для проектирования большинства современных производственных процессов пищевой технологии.

Овладение данной дисциплиной позволит осуществлять в производственных условиях наилучшие технологические режимы, повышать производительность аппаратуры и улучшать качество продукции; даст возможность разрабатывать более рациональные технологические схемы и типы аппаратов при проектировании новых производств, правильно оценить результаты научных исследований в лабораторных условиях и реализовать их на практике.

Курс «Процессы и аппараты пищевых производств» развивает и дополняет изучавшиеся ранее базовые дисциплины (физика, химия, теоретическая механика, гидравлика, теплотехника и др.), объединяет их методы в

направлении приложения к процессам пищевых производств, а также служит теоретической основой для специальных дисциплин.

Литература: 1, с.15-20; 7, с.307-312.

Тема 2 Классификация процессов пищевых производств. Основные законы. Физические свойства сырья.

Цель: Рассмотреть классификацию процессов, закономерности по которым они развиваются и свойства сырья для переработки.

План: Классификация процессов; основные законы их протекания, основные свойства сырья.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Процессы пищевых производств можно разделить на простые и сложные. Вместе с тем практически любой реальный процесс переработки продукта достаточно сложный. Он неизбежно включает не только процессы, относящиеся непосредственно к переработке, но и подготовительно-заключительные операции (подача продукта в рабочую зону и отвод из нее). Таким образом, почти каждый так называемый простой процесс можно разделить на еще более простые.

Само понятие «процесс» предполагает некоторое преобразование материи, протекающее в пространстве и во времени. Оно происходит под воздействием побуждающих факторов и характеризуется начальным и конечным состояниями. Каждый элементарный акт проявления побуждающего фактора и его воздействия на продукт можно рассматривать как процесс, который, с одной стороны, является относительно простым, так как не приводит к полному преобразованию продукта, а с другой — допускает дальнейшее разбиение на более простые составляющие.

Введенное представление о степени сложности процессов, хотя и достаточно условное, позволяет относительно произвольно выделить удобные для рассмотрения и дальнейшего использования их модели, из которых при необходимости можно строить более сложные комбинации. Одно из таких удобных разбиений процессов пищевых производств — классификация по научным дисциплинам, методы которых служат основой для объяснения их закономерностей. Такой классификацией является показанное на рисунке 1.1 разделение процессов на гидравлические, механические, гидромеханические, тепловые, массообменные, биохимические и микробиологические.

Соответственно данной классификации курс «Процессы и аппараты пищевых производств» можно представить состоящим из разделов, направленных на изучение специфики простых процессов, каждого в отдельности и их комплексов, образующих сложные процессы, а также

объединяющих (обобщающих) разделов. В качестве объединяющих в данном курсе выделены общие вопросы указанных базовых дисциплин, применяемые к большинству процессов.

Гидравлические процессы. Реализуются при течении ньютоновских жидкостей по трубопроводам и элементам гидравлических систем, а также в гидравлических машинах — насосах и двигателях. Это весьма распространенный класс процессов, подчиняющихся специфическим закономерностям. Без изучения гидравлических процессов невозможно правильное понимание большинства процессов в пищевых производствах. Этим объясняется их включение в классификацию.

Течение неньютоновских жидкостей, к которым относятся многие продукты пищевых производств, изучает выделившаяся в самостоятельную науку реология. Неньютоновские жидкости в большинстве являются полимерами. Их механика — это целый мир своеобразных закономерностей, не имеющих аналогов в механике мономеров. Без их понимания невозможно понять многие процессы пищевых производств.

Механические процессы. К ним относят процессы измельчения (дробление и резание), сортирования, прессования, окатывания, округления и др. Они протекают под действием механических усилий, а их результатом является изменение размеров частиц продукта. Эти процессы реализуются в мельничных комплексах, дробилках, крупорушках, терках, волчках, измельчителях овощей и корнеплодов, очистителях их поверхностей, очистителях лука и чеснока и других продуктов от поверхностной шелухи, просеивающих машинах (ситовых поставах, буратах и др.), триерах, веялках, прессах, штампах, валковых и шнековых нагнетателях, устройствах сепарирования сыпучих веществ и др.

Гидромеханические процессы. К ним относят процессы перемешивания жидких и сыпучих продуктов, фильтрования, осаждения, мойки корнеплодов, пневмо- и гидротранспортирования, псевдоожижения сыпучих продуктов и др. Они протекают под влиянием суммы механических (в частности, центробежных или гравитационных) и гидродинамических воздействий, а их результатом является пространственное перемещение отдельных агломератов продукта или элементов смеси продуктов. Эти процессы реализуются в пневматических и гидравлических классификаторах, фильтрах, осадителях, центрифугах, сепараторах, циклонах, пневмо-, гидро- и аэрозольных транспортирующих устройствах, гидромеханических моечных машинах, смесителях жидких и сыпучих продуктов, сушилках и др.

Тепловые и массообменные процессы. К *тепловым процессам* относят нагревание, охлаждение, выпаривание и конденсацию, к *массообменным* — сушку, сорбцию, перегонку, кристаллизацию, растворение, экстрагирование, экстракцию и др. Они протекают под действием разностей температур или концентраций веществ. Результатом их является перемещение в пространстве теплоты (тепловой энергии) или отдельных компонентов смеси веществ. Данные процессы реализуются в нагревателях, охладителях, разварниках,

абсорберах, адсорберах, перегонных устройствах (кубовые аппараты, ректификационные колонны и др.), выпарных аппаратах, сушилках, конденсаторах, кристаллизаторах, растворителях, экстракторах и др.

К тепловым процессам примыкают процессы получения холода. Они используют одни и те же термодинамические зависимости, одинаковые принципы решения теплотехнических проблем; часть теплотехнических устройств, используемых в них, являются одинаковыми. Однако традиционно тепловые и холодильные процессы рассматривают обособленно.

Химические процессы. Многочисленные химические процессы пищевых производств выделены в самостоятельную группу, включающую биохимические и физико-химические процессы.

К *биохимическим* относят процессы ферментации, брожения, стерилизации, пастеризации, дезинфекции, промывки тары и ее чистки и др. Результатом этих процессов является изменение в объеме продукта или на поверхности тары концентрации Сахаров, дрожжевых культур, бактерий и продуктов их жизнедеятельности, спор, загрязняющих веществ и др.

К *физико-химическим* процессам относят горение и взрывы. Подробно они изучаются специальными научными дисциплинами. В данном курсе дается лишь самое общее знакомство с ними, оправданное, в частности, необходимостью грамотной профилактики пожаро- и взрывоопасности мукомольных, комбикормовых и некоторых других производств.

Периодические и непрерывные процессы. Основные процессы пищевой технологии делятся по способу организации на периодические и непрерывные.

Периодические процессы характеризуются тем, что все стадии (загрузка сырья, обработка и выгрузка готового продукта) осуществляются в одном аппарате, но в разное время.

Непрерывные процессы характеризуются тем, что все их стадии протекают одновременно, но разделены в пространстве, так как осуществляются либо в различных частях проточного аппарата, либо в разных аппаратах, составляющих данную установку.

Основные преимущества непрерывных процессов по сравнению с периодическими заключаются в следующем:

отсутствуют затраты времени на загрузку исходного сырья и выгрузку готового продукта;

появляется возможность создания качественной системы регулирования режимных параметров, что позволяет обеспечить более высокую стабильность качества готовой продукции;

оборудование имеет меньшие габариты при равной производительности с периодически действующим оборудованием, что сокращает затраты на изготовление, ремонт, амортизационные отчисления, эксплуатацию и монтаж;

повышается тепловой коэффициент полезного действия, так как при отсутствии перерывов в работе более полно используется подводимая теплота, нет потерь ее при разгрузке продукции;

улучшаются условия обслуживания аппаратов путем устранения операций их загрузки и разгрузки, уменьшается потребность в обслуживающем персонале.

В зависимости от изменения параметров во времени (скоростей, температуры, концентраций и др.) процессы могут быть разделены на установившиеся (стационарные) и неустойчивые (нестационарные, или переходные).

При *установившемся процессе* значение каждого из параметров **зависит** только от положения рассматриваемой точки в аппарате, **но** не зависит от времени. В *неустойчивых* процессах параметры переменные и зависят не только от положения рассматриваемой точки в объеме аппарата, но и от времени.

Для непрерывных процессов изменение параметров во времени имеет место только в период пуска установок.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ. ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ

Классификационные признаки. Оборудование пищевых производств насчитывает более двух тысяч единиц, относящихся к самым разным процессам. Изучение столь большой номенклатуры машин и аппаратов невозможно без систематизации знаний, основанной на научно обоснованной классификации.

Основные используемые в настоящее время классификационные признаки оборудования пищевых производств следующие:

технологическая схема процесса. В соответствии с этим признаком различают аппараты поточные, противоточные и с поперечным током;

непрерывность процесса. По этому признаку различают аппараты, работающие периодически или непрерывно;

давление в рабочем объеме. Аппараты могут быть с атмосферным, повышенным или пониженным давлением в рабочем объеме;

температура процесса. Этот классификационный признак подразумевает разделение аппаратов на работающие при температурах, близких к температуре окружающей среды; при высоких температурах; при низких температурах;

конструктивные признаки. К ним относится использование конкретных конструктивных элементов (туннели, башни, сферы и т. д.); применение известных конструктивных решений по транспортированию и перемешиванию продуктов (вращающиеся барабаны, ленточные конвейеры, вибропривод, пневмотранспорт и т.д.); способ подвода теплоты (кондуктивный, конвективный, ра

диационный); способ создания давления (насосом, с помощью столба жидкости и пр.).

Требования к оборудованию. Машины и аппараты пищевых производств должны удовлетворять технологическим, эксплуатационным, конструктивным, эргономическим, экономическим и другим требованиям.

Технологические требования определяются назначением аппарата и принятой технологией ведения процессов в нем. Они конкретизируются в зависимости от типа процесса, агрегатного состояния обрабатываемого продукта, его химического состава и физических свойств. Технологическими требованиями определяются форма рабочего объема аппарата и основные размеры элементов рабочей зоны, температура и давление в ней, скорость движения продуктов и степень турбулизации жидкостных потоков, необходимые площади контакта фаз, дополнительные воздействия на продукт, предотвращение инфицирования и загрязнения продукта.

Эксплуатационные требования чрезвычайно разнообразны. К ним относятся: высокая интенсивность процесса (производительность, отнесенная к какой-либо характеристике аппарата — объему рабочей камеры, площади нагревательных поверхностей); коррозионная устойчивость материалов; расход энергии; надежность; доступность для осмотра и ремонта и др.

Конструктивные требования зависят от многих факторов. К ним относятся: высокая степень унификации и взаимозаменяемости с другим оборудованием данного и родственных предприятий; малая трудоемкость сборки, монтажа и ремонта; удобство транспортировки и ремонта; минимальная масса, в том числе металлоемкость; технологичность изготовления и ремонта.

Эргономические требования включают эстетические требования и требования безопасности, в том числе требования обеспечения нормативных условий труда. Они направлены на предотвращение травм при эксплуатации оборудования, создание здоровых условий труда при безусловном выполнении санитарно-гигиенических требований к оборудованию, создание благоприятных психофизиологических условий для функционирования системы человек-машина—окружающая среда. Все эргономические требования стандартизованы.

Экономические требования формулируются из условия минимизации целевой функции затрат. В свою очередь, целевая функция затрат может учитывать условия проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ НАУКИ О ПРОЦЕССАХ И АППАРАТАХ

Энергетический баланс. Этот баланс составляют на основе закона сохранения и превращения энергии. Закон формулируется следующим образом: в изолированной системе сумма всех видов энергии является величиной постоянной, или энергия никогда не создается и не уничтожается — она только переходит из одной формы в другую. Отсюда следует вывод, что нельзя получить нечто из ничего. Это великое «бухгалтерское» правило

оказалось очень полезным. Если обнаруживается изменение энергии, которое не входит в современный список форм энергии, если выясняется, что энергия исчезает или появляется как бы из ничего, то приходится придумывать новый вид энергии, который учел бы эту разницу. Нейтрон, например, был обнаружен вследствие недостачи в энергетическом балансе атомного реактора. Его открыл в 1932 г. английский ученый Джеймс Чэдвик.

Разновидность энергетического баланса — тепловой баланс, который в общем виде записывается в виде уравнения

$$Q_B = Q_O + Q_{\Pi}$$

где Q_B — количество вводимой теплоты; Q_O — количество отводимой теплоты; Q_{Π} — потери теплоты.

Материальный баланс. Согласно закону сохранения массы количество поступающих в аппарат веществ M_{Π} равно количеству веществ M_p , получаемых в результате проведения процесса в аппарате, и возможных потерь M_B :

$$M_{\Pi} = M_p + M_B$$

Баланс составляют за единицу времени, например за 1 ч. На основе материального баланса определяют выход продукта.

Принцип Ле Шателье. Как же организуется на практике протекание сложных процессов, например процессов массообмена? Основа сложных процессов организации и управления ими — использование объективно существующей природной закономерности самостоятельного перехода любой системы к состоянию равновесия. Равновесным считают такое состояние системы, которое само устанавливается в ней и не изменяется во времени. Никакие процессы в системе при этом не происходят. Если каким-либо внешним воздействием вывести систему из равновесия, в ней самопроизвольно начнутся изменения, возвращающие ее в новое состояние равновесия, соответствующее измененным внешним условиям. Это утверждение составляет сущность принципа Ле Шателье. Обусловленные этим принципом явления лежат в основе организации рабочих процессов физико-химической природы.

Пример 1. В цилиндрическом сосуде с водой и поршнем над ней равновесное давление паров над поверхностью воды самопроизвольно устанавливается соответствующим температуре сосуда. Если внешним усилием переместить поршень в новое положение, давление паров над поверхностью воды увеличится. Это вызовет самопроизвольную их конденсацию. В результате через некоторое время давление паров примет первоначальное значение, т. е. система вновь окажется в равновесии, хотя положение поршня стало новым. Явление

конденсации паров в процессе самопроизвольного восстановления равновесия, нарушенного нами

преднамеренно, может использоваться как искусственно организованный процесс конденсации.

Правило фаз Гиббса. В многокомпонентной многофазной системе часть параметров может изменяться независимо, т.е. им можно задавать произвольные значения; оставшаяся их часть является зависимой; их изменения автоматически подстраиваются к изменениям независимых параметров. Соотношение между числом степеней свободы системы S (числом параметров, которые можно изменять произвольно), числом компонентов K (числом чистых химических веществ системы) и числом фаз F (числом физически однородных по своей массе веществ) определяется правилом фаз Гиббса

$$S = K - F + 2$$

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ И СЫРЬЯ

В пищевой промышленности перерабатывают сырье и получают готовые продукты в различном агрегатном состоянии: твердом, жидком, паро- и газообразном. Для расчета процессов и аппаратов необходимо знать свойства пищевых продуктов и сырья.

Многие пищевые продукты представляют собой однородные и неоднородные смеси.

К однородным смесям относятся растворы, например сахарные, водно-спиртовые, соки и т.д. Однородные смеси характеризуются концентрацией растворенного вещества.

К неоднородным относятся смеси твердого вещества с жидкостью, а также смеси различных нерастворимых одна в другой жидкостей. Для характеристики неоднородных смесей вводят понятие объемной или массовой доли, например, доли твердого вещества в жидкости.

Все свойства веществ можно разделить на физические (плотность, удельный вес, вязкость, поверхностное натяжение и др.) и теплофизические (удельная теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность и др.). Данные об этих свойствах для различных веществ и растворов в зависимости от температуры и давления приводятся в справочниках.

Рассмотрим основные свойства веществ.

Плотность. Отношение массы тела (вещества) к его объему называют плотностью. Плотность ($\text{кг}/\text{м}^3$)

$$\rho = M / V$$

где M — масса тела, кг; V — его объем, м³.

Плотность представляет собой величину, обратную удельному объему $v_{уд}$ т. е. объему, занимаемому единицей массы вещества; $\rho = 1/v_{уд}$ где $v_{уд} = V/M$.

Плотность раствора зависит от его массовой доли.

Отношение плотностей двух веществ называют *относительной плотностью*. Обычно относительную плотность веществ определяют относительно плотности дистиллированной воды:

$$\rho_{отн} = \rho/\rho_в,$$

ρ — плотность вещества; $\rho_в$ — плотность воды.

Вязкость. Вязкостью называют свойство жидкости оказывать сопротивление силам, вызывающим относительное перемещение ее частиц при ламинарном течении. Различают динамическую и кинематическую вязкость.

Причиной вязкостного сопротивления движению является молекулярное взаимодействие между частицами жидкости, а также взаимодействие между молекулами жидкости и движущегося в ней твердого тела.

Вязкостью обусловлена сила внутреннего трения, которая направлена в сторону, противоположную движению слоя, перемещающегося с большей скоростью, и действует на этот слой. Тем самым сила внутреннего трения вызывает сопротивление движению этого слоя жидкости.

Вязкость является основным отличием реальной жидкости от идеальной, которая вязкости не имеет.

Первоначальные основы закона внутреннего трения между слоями жидкости даны Ньютоном в 1686 г. и сводятся, в частности, к следующему:

1) вязкость и сила внутреннего трения практически не зависят от давления;

2) сила внутреннего трения прямо пропорциональна, относительной скорости перемещения смежных слоев, или градиенту скорости. Под относительной скоростью в данном случае понимают приращение скорости при переходе от одного слоя (a) к другому (b) по нормали к направлению движения жидкости. Это приращение скорости на единицу длины по нормали к движению потока называют градиентом скорости.

Всесторонние исследования распределения скорости по нормали к стенке показали, что скорость струек различна. По мере приближения исследуемого потока к стенке скорость его уменьшается. На самой поверхности стенки жидкость как бы прилипает к ней, и скорость становится равной нулю. И, наоборот, по мере удаления струйки от стенки скорость ее увеличивается.

В дальнейшем высказанное Ньютоном положение о внутреннем трении жидкости было проверено опытами крупнейшего русского ученого Н. П. Петрова (1836—1920).

Математическая формулировка закона Ньютона:

$$T = mFdw/dn$$

где T —сила внутреннего трения или касательная сила, которую нужно прилагать, чтобы перемещать один слой жидкости относительно другого с постоянной скоростью, Н; m — динамический коэффициент вязкости или динамическая вязкость (Па·с); F —площадь соприкосновения слоев жидкости, м²; dw/dn — градиент скорости (1/с).

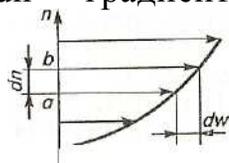


Рис. 1. К определению градиента скорости вблизи неподвижной поверхности

В технической системе единиц динамическая вязкость измеряется в пуазах (П) или сантипуазах и связана с единицей динамической вязкости в системе СИ выражением: 1 П = 10⁻⁵ Па·с.

Из закона Ньютона вытекает понятие об удельной силе внутреннего трения, или касательном напряжении

$$\tau = T/P = mdw/dn$$

Из последнего выражения следует, что при $dw/dn = 1$ и $\tau = m$ следовательно, коэффициент динамической вязкости выражает силу трения T , приходящуюся на единицу площади поверхности F между двумя скользящими один относительно другого слоями, когда на единице длины нормали к поверхности скольжения скорость движения изменяется на единицу скорости.

Кинематическая вязкость (м²/с) определяется по следующему уравнению:

$$\nu = m/\rho$$

И технической системе единиц кинематическая вязкость измеряется в стоксах (Ст) или сантистоксах. Соотношение единиц кинематической

вязкости в технической системе единиц и в системе СИ имеет вид: $1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с} = 1 \text{ см}^2/\text{с}$.

Эталоном вязкости служит дистиллированная вода, поэтому иногда вязкость измеряют в градусах Энглера. Вязкость в градусах Энглера ($^{\circ}\text{E}$) является отношением времени t_1 истечения 200 см^3 исследуемой жидкости из некоего сосуда ко времени t истечения того же объема дистиллированной воды из того же сосуда при температуре 20 С , т. е. $^{\circ}\text{E} = t_1/t$.

Переход от вязкости в градусах Энглера к кинематической вязкости в системе СИ ($\text{см}^2/\text{с}$) выполняется по эмпирической формуле Убеллоде:

$$\nu = 0,0731 \text{ } ^{\circ}\text{E} - 0,0631/\text{ } ^{\circ}\text{E}$$

Вязкость капельных жидкостей значительно снижается с возрастанием температуры. Вязкость газов, наоборот, увеличивается с ее повышением. Причина различия влияния температуры на вязкость капельных жидкостей и газов обусловлена тем, что вязкость газов имеет молекулярно-кинетическую природу, а вязкость капельных жидкостей зависит в основном от сил сцепления между молекулами. Поскольку плотность газов примерно в тысячу раз меньше плотности капельных жидкостей, то их кинетическая вязкость может быть больше вязкости этих жидкостей.

Теплоемкость. Это отношение количества теплоты, подводимой к веществу, к соответствующему изменению его температуры. Теплоемкость единицы количества вещества s называют удельной теплоемкостью. В расчетах используют массовую, объемную и мольную удельные теплоемкости.

Удельная теплоемкость зависит от того, при каком процессе (изобарном, изохорном, адиабатном, политропическом, изотермическом) происходит обмен энергией между веществом и окружающей средой.

Наиболее часто в расчетной практике используют удельные изобарную теплоемкость c_p и изохорную теплоемкость c_v , которые связаны между собой уравнением $c_p - c_v = R$, где R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль \cdot К); Дж/(кг \cdot К). Отношение $c_p/c_v = \kappa$ называют *показателем адиабаты*.

Массовая удельная теплоемкость показывает, какое количество теплоты надо сообщить веществу массой 1 кг , чтобы повысить его температуру на один градус.

Теплоемкость жидкостей и газов зависит от температуры и увеличивается с повышением ее. Экспериментальные значения удельных теплоемкостей пищевых продуктов приводятся в соответствующих справочниках в виде таблиц и эмпирических формул.

Удельные теплоемкости жидкостей изменяются в диапазоне от $0,8$ до $4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, газов — от $0,5$ до $2,2$, твердых веществ — от $0,13$ до $1,8 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Теплопроводность. Теплопроводностью называют процесс переноса энергии от более нагретых участков тела к менее нагретым в результате теплового движения и взаимодействия микрочастиц, приводящий к выравниванию температуры тела.

Интенсивность теплопроводности в твердых материалах, жидкостях и газах характеризуется *коэффициентом теплопроводности* h , который является физическим свойством (теплофизическим параметром) вещества и показывает, какое количество теплоты проходит через 1 м^2 поверхности в течение единицы времени при градиенте изменения температур в направлении, перпендикулярном изотермической поверхности, равном 1. Иногда h называют теплопроводностью.

Температуропроводность. Температуропроводностью называют процесс изменения температуры в окрестности данной точки в объеме вещества при изменении температурного поля (распределения температур) в этом объеме.

Температуропроводность характеризуется коэффициентом температуропроводности

$$a = h / (c\rho),$$

где a — коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; h — коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; c — удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; ρ — плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$. Иногда a называют температуропроводностью.

Из последнего выражения следует, что $ac\rho = h$. Физический смысл коэффициента температуропроводности уясняется при рассмотрении основного уравнения распространения теплоты (уравнения энергии), которое в простейшем виде записывается так:

$$dT/dt = aV^2 T$$

где dT/dt — скорость (темп) изменения температуры в окрестности данной точки, $\text{К}/\text{с}$; $V^2 T$ — приращение градиента температуры в направлении нормали n к изотермической поверхности, $\text{К}/\text{м}^2$ (знак « V^2 » читается «набла квадрат»).

Из этого уравнения следует, что при равном приращении градиента температуры в данной точке вещества темп охлаждения или нагревания быстрее изменяется для тех веществ, которые характеризуются большим коэффициентом температуропроводности. Поэтому коэффициент температуропроводности — важнейшая теплоинерционная характеристика твердых, жидких и газообразных тел.

Поверхностное натяжение. Всякая молекула, расположенная в глубине жидкости, притягивается соседними молекулами. Силы этого притяжения взаимно уравновешены и поэтому незаметны. Иная картина распределения

сил у тех молекул, которые расположены не в глубине, а в поверхностном слое жидкости. Они притягиваются снизу и со всех сторон, но не сверху, так как там находится уже не жидкость, а другая среда. В результате поверхностный слой находится как бы в натянутом состоянии, подобно упругой пленке. Поверхностное натяжение определяется природой жидкости.

Для демонстрации действия поверхностного натяжения проведите следующий опыт. Выпив чай, оставьте на дне чашки немного жидкости с чайниками. Чайной ложкой или спичкой осторожно коснитесь поверхности жидкости. Она тотчас «поползет» вверх, увлекая за собой чайники. Это — результат действия поверхностного натяжения.

Если две сухие стеклянные пластинки приложить одну к другой, они легко разъединяются. Если же одну из пластинок смочить водой, разъединить их будет значительно труднее. Это тоже результат действия поверхностного натяжения.

Поверхностный слой оказывает давление на всю остальную массу жидкости. Это так называемое молекулярное давление, как оказалось, значительное. Для эфира, например, оно составляет 140, для спирта 240, а для воды 1100. В этом может заключаться одна из причин того, что капельные жидкости практически несжимаемы. Ведь обычное внешнее давление ничтожно по сравнению с тем, которое жидкость уже испытывает от действия своих же молекул — молекул поверхностного слоя. Вторая причина ее несжимаемости — малые расстояния между молекулами, половина из которых связаны внутренними межмолекулярными связями. При создании новой поверхности жидкости требуется затрата энергии для преодоления сил внутреннего давления, которая характеризуется коэффициентом поверхностного натяжения σ , измеряемым в ньютонах на метр.

Коэффициент поверхностного натяжения численно равен силе, действующей на единицу длины поверхности раздела жидкости и соприкасающейся с ней среды, а также может рассматриваться как работа, требуемая для образования единицы новой (межфазной) поверхности. С увеличением температуры жидкости поверхностное натяжение уменьшается, снижаясь до нуля в критической точке.

Литература: 1, с.1-40;

Тема 3 Гидравлические и гидромеханические процессы

Цель: изучить данные процессы, понять законы, по которым в этих процессах сырье преобразуется в пищевую продукцию.

План: жидкости как рабочие тела гидросистем; давление; гидродинамика; гидравлический расчет трубопроводов; гидромеханические процессы; основные характеристики гидромашин.

ЖИДКОСТИ КАК РАБОЧИЕ ТЕЛА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Гидравлика изучает жидкости и газы как рабочие тела технических (гидравлических) систем. Рабочие тела передают энергию от ее источника исполнительным механизмам (потребителям), т. е. участвуют в преобразовании форм механической энергии и передаче ее в пространстве. Гидравлика состоит из гидростатики и гидродинамики.

Основная особенность жидкостей и газов как рабочих тел — их сплошность. Предполагается, что любой объем заполняется ими равномерно, без образования пустот. Все характеристики сплошной среды (давление, плотность, температура, скорость и др.) — непрерывные и дифференцируемые функции координат.

В широком смысле жидкости можно разделить на капельные и газообразные. Капельные жидкости (или просто жидкости в малых количествах) собираются в капли, форма которых определяется силами тяжести и поверхностного натяжения. В больших количествах капельные жидкости принимают форму сосуда, в котором они находятся, с образованием поверхности раздела между жидкостью и окружающей средой. Газы не образуют капель, а замкнутые сосуды заполняют целиком без образования поверхностей раздела.

С молекулярно-кинетических позиций о строении вещества различия капельных жидкостей и газов определяются количеством химических или силовых связей молекул вещества. Если в твердом кристаллическом теле практически каждая молекула связана с соседней, то в капельной жидкости половина этих связей разорвана. В газах межмолекулярные силовые связи отсутствуют полностью. В результате расстояния между молекулами жидкости почти столь же малы, как в твердом кристаллическом теле, но в газах они существенно больше. Следствием этого является то, что уменьшить эти расстояния, т. е. сжать капельную жидкость, затруднительно, а газ — относительно легко. Поэтому капельные жидкости считаются несжимаемыми, а газы — сжимаемыми. На основании этого деление сплошных сред на жидкости и газы может заменяться делением на сжимаемые и несжимаемые жидкости.

При изучении законов гидравлики рассматривают три типа капельных жидкостей:

1) идеальная жидкость. Это абстрактная модель жидкости, характеризующаяся абсолютной текучестью и неизменяемостью объема при изменении внешних условий (абсолютной несжимаемостью). Вязкость в таких жидкостях отсутствует;

1) реальные, или вязкие, жидкости. Это — физические тела, обладающие большой подвижностью и способные изменять свой объем при изменении внешних условий. При движении таких жидкостей возникают вследствие внутреннего трения касательные напряжения. Называют такие жидкости ньютоновскими;

2) неньютоновские, или реологические, жидкости. Они имеют специфические свойства, часть из которых рассматривается далее.

Жидкость в гидравлике рассматривается как непрерывная среда, т. е. в гидравлике отвлекаются от ее молекулярного строения.

В покоящейся жидкости нет перемещения слоев относительно друг друга. Это показывает, что в жидкости действуют не сосредоточенные силы, а силы, непрерывно распределенные по ее объему (массе) или по поверхности. В связи с этим силы, действующие на жидкость, разделяют на массовые (объемные) и поверхностные.

Массовые силы пропорциональны массе жидкости и, если жидкость однородна, пропорциональны ее объему. К массовым силам относятся сила тяжести и сила инерции, которая действует на жидкость при относительном ее покое во вращающихся или ускоренно движущихся сосудах.

Поверхностные силы непрерывно распределены по поверхности жидкости и в случае равномерности распределения пропорциональны площади этой поверхности. Если массовые силы обусловлены силами тяжести и инерции, то поверхностные вызваны непосредственным воздействием других тел (твердых или газообразных), соприкасающихся с данной жидкостью. Согласно третьему закону Ньютона жидкость действует на другие тела с той же силой, но в противоположном направлении. Массовые силы относят к единице массы (Н/кг), а поверхностные — к единице площади поверхности ($1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па}$).

ДАВЛЕНИЕ

Давлением p называют отношение

$$p = F/S$$

F - сила, Н; S — площадь поверхности, на которую эта сила действует, м^2 .

Молекулярная физика объясняет возникновение давления тем, что стенки сосудов непрерывно бомбардируются молекулами жидкости и газов. С повышением скорости молекул давление увеличивается, так как при этом возрастает сила, действующая с их стороны на стенки, а следовательно, и число ударов. Поэтому давление пропорционально квадрату скорости молекул и их массе ($mV^2/2$). Давление p при температуре T по закону Гей-Люссака равно

$$p = p_0 T / T_0$$

где p_0 — давление при 0° C .

$$T_0 = 273 \text{ K}$$

В системе СИ давление измеряется в ньютонах на квадратный метр; эту единицу давления называют паскалем: $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$.

В расчетах давление часто выражают также в физических и технических атмосферах или в единицах высоты h столба жидкости (воды, ртути и т.д.). Между давлениями, выраженными в паскалях и в единицах высоты столба жидкости, существует связь

$$p = \rho gh$$

Сила, равная 1 ньютону, сообщает массе, равной 1 кг, ускорение, равное 1 м/с², т. е. 1 Н = 1 кг · м/с².

Найдем единицу давления из анализа последней формулы:

$$[(\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{м}/\text{с}^2)\text{м}] = [\text{Н}/\text{м}^2]$$

Существуют следующие соотношения между различными единицами давления:

$$1 \text{ атмосфера физическая (1 атм)} = = 760 \text{ мм рт. ст.} = 10,33 \text{ м вод. ст.} = 101\,300 \text{ Па.}$$

Физическую атмосферу называют также нормальной атмосферой. Техническая атмосфера связана с другими единицами соотношениями:

$$1 \text{ атмосфера техническая (1 атм)} = = 735,6 \text{ мм рт. ст.} = 10 \text{ м вод. ст.} = 98\,100 \text{ Па.}$$

Есть два способа отсчета давления.

Первый способ — отсчет от давления, равного нулю, т. е. абсолютного вакуума. В этом случае значение давления $p_{\text{абс}}$ называют абсолютным.

На практике применяют более удобный способ — отсчет от атмосферного (барометрического) давления, равного 760 мм рт. ст. В этом случае давление называют избыточным $p_{\text{изб}}$ или манометрическим. Таким образом, избыточное давление равно разности между абсолютным давлением в рассматриваемой точке и атмосферным давлением в помещении. На избыточное давление рассчитывают сосуды, работающие под давлением.

Для измерения давления применяют барометры, манометры, вакуумметры и пьезометры.

Барометрами измеряют атмосферное давление $p_{\text{атм}}$, которое отсчитывается от абсолютного вакуума.

Манометры и вакуумметры показывают не абсолютное давление $p_{\text{абс}}$ внутри замкнутого объема, а разность давлений. *Манометром* измеряют избыточное давление, т.е. превышение абсолютного давления над атмосферным.

$$p_{\text{изб}} = p_{\text{абс}} - p_{\text{атм}}$$

Абсолютное давление равно сумме показаний барометра и манометра:

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{атм}} + p_{\text{изб}}$$

Вакуумметром измеряют разрежение $p_{\text{вж}}$ (вакуум), вакуумметр показывает, насколько давление в сосуде меньше (ниже) атмосферного. Абсолютное давление в емкости в этом случае определяется по следующему уравнению:

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{атм}} - p_{\text{вак}}$$

ГИДРОДИНАМИКА

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ вязких жидкостей. Движение жидкостей и газов характеризуется скоростями v и ускорениями a частиц в различных точках потока жидкости, а также давлением p в этих точках.

Различают установившееся и неустойчивое движение жидкостей.

Установившимся движением называют такое, при котором скорость частиц, плотность, температура, давление и расход жидкости в каждой фиксированной точке пространства не изменяются во времени. Пусть, например, жидкость движется в трубопроводе переменного сечения. Скорость жидкости при этом то увеличивается, то уменьшается в зависимости от места расположения сечения в трубопроводе, но в каждом фиксированном сечении она неизменна во времени. Такое движение называют стационарным. При неустойчивом, или нестационарном, движении все факторы изменяются во времени, т. е. скорость является функцией не только координаты, но и времени. Примером *неустойчивого движения* может служить истечение жидкости из резервуара при переменном ее уровне в резервуаре.

Неустойчивые режимы движения реализуются главным образом в периодических процессах или возникают кратковременно при пусках, остановках, а также изменениях режима работы аппаратов непрерывного действия.

Исследование механизма движения вязкой жидкости показало, что имеют место два режима, резко отличающихся один от другого. Это различие подтверждено в 1883 г. опытами английского физика О. Рейнольдса. При малых скоростях струйка чернил 1 (рис. 2) движется параллельно стенкам трубки 2. Этот режим движения называют *ламинарным*, или слоистым («ламина» в переводе с латинского означает слой).

При увеличении скорости движения жидкости линия тока струйки закручивается в виде вихря, а при еще большей скорости движение становится неупорядоченным, частицы движутся по хаотическим траекториям. Линии тока в трубке исчезают в беспорядке бурного турбулентного движения. Этот режим называется *турбулентным* (от латинского «турбулентус» — беспорядочный).

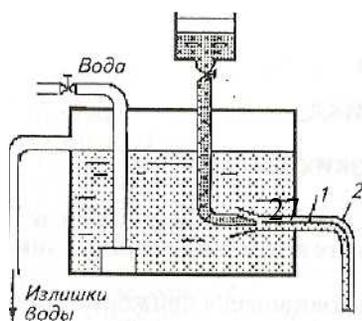


Рис. 2 Схема опыта Рейнольдса

Исходя из опытных данных и некоторых теоретических соображений

Рейнольдс установил общие условия, при которых возможно существование того или другого режима и переход из одного режима в другой, а именно, что характер движения жидкости зависит от вязкости m , скорости ее движения w , плотности жидкости ρ и диаметра трубки d .

Для характеристики режима движения введен безразмерный комплекс, учитывающий влияние перечисленных факторов. Этот комплекс впоследствии был назван *критерием* Рейнольдса:

$$Re = wdp / m = wd / \nu$$

где ν - кинематическая вязкость жидкости.

Границы существования того или иного режима определяются двумя критическими значениями критерия Рейнольдса: нижним $Re_{кр\ n}$ и верхним $Re_{кр\ в}$. При $Re < Re_{кр\ н}$, всегда имеет место ламинарный режим; при $Re > Re_{кр\ в}$ режим устойчиво турбулентный. Для воды $Re_{кр\ н} = 2320$ и $Re_{кр\ в} = 10\ 000$.

В критерий Рейнольдса входит величина d — это определяющий размер канала, по которому течет жидкость.

Для круглой трубы

$$R_r = (\rho d^2 / 4)(\rho d) = d / 4$$

Если труба некруглого сечения, то вводится понятие гидравлического радиуса

$$R_r = S / \Pi$$

где S - площадь сечения потока; Π —смоченный периметр.

Смоченным периметром Π называют линию контакта (соприкосновения) живого сечения потока жидкости со стенками, вдоль которых движется поток.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

Задачи расчета

Трубопроводы разделяют на короткие и длинные, простые и сложные.

В коротких трубопроводах рассчитывают два вида потерь: по длине и местные. Длинными называют трубопроводы, в которых потери напора по длине основные.

Простые трубопроводы не имеют ответвлений, но могут иметь трубы постоянного или переменного сечения. Сложные трубопроводы делятся на разветвленные и кольцевые (замкнутые).

При расчете трубопроводов решают три типа задач:

расчет расхода жидкости через трубопровод заданных размеров;

расчет гидродинамического напора при заданном расходе жидкости;

определение диаметра трубопровода при заданных расходе и гидродинамическом напоре.

На пищевых производствах трубопроводов настолько много, что они составляют значительную часть общей стоимости оборудования и эксплуатации всего производства. Их называют кровеносной системой завода. Из уравнения

$$h_{\text{тр}} = hw^2 / d^2g$$

видно, что с увеличением диаметра трубопровода d потери напора $h_{\text{тр}}$ уменьшаются, а вместе с этим снижаются скорость течения w и мощность насоса N . Мощность насоса (Вт)

$$N = pgQ(h_{\text{тр}} + h_{\text{мс}})$$

где ρ — плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; Q — ее объемный расход, $\text{м}^3/\text{с}$; $h_{\text{мс}}$ - потери напора на местные сопротивления, Па.

Однако при этом увеличиваются металлоемкость и стоимость системы.

Диаметр трубопроводов выбирают на базе технико-экономического сравнения ряда вариантов, учитывающих все факторы, которые влияют на стоимость сооружения (стоимость трубопроводов и насосной установки).

Экономичным диаметром трубопровода считают тот, при котором общая стоимость создания всей системы трубопроводов и ее эксплуатации будет наименьшей. Вариант, обеспечивающий экономическую выгоду к

определенному сроку эксплуатации, будет оптимальным в соответствующих условиях.

При расчете расхода жидкости в трубопроводах, определяют: какой максимальный расход жидкости Q может обеспечить трубопровод заданных размеров (длина, диаметр труб и т. д.);

какой мощности должен быть насос, подающий это количество жидкости на заданную высоту H .

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН

Гидравлические машины — устройства, преобразующие механическую энергию движения рабочих органов в энергию движения жидкости или наоборот. К гидравлическим машинам относят (рис. 9.1): насосы, гидравлические двигатели и их комбинации, называемые гидравлическими передачами.

Насосы — устройства, передающие жидкости энергию механического движения рабочих органов.

Гидравлические двигатели выполняют обратную функцию: они преобразуют энергию жидкости в механическую (кинетическую) энергию движения рабочих органов мотора.

Гидравлические передачи преобразуют один вид механического движения в другой с использованием промежуточного его преобразования в гидравлических машинах. Различают следующие виды гидравлических передач: гидромуфты и гидротрансформаторы.

Насосы разделяют на два основных класса: динамические и объемные.

Динамическими называют насосы, в которых энергия движения рабочих органов сообщается жидкости путем воздействия гидродинамических сил на незамкнутый ее объем. Они разделяются на лопаточные (лопастные), вихревые, струйные.

Лопаточными называют гидравлические машины (насосы и гидравлические двигатели), в которых жидкость передает (получает) энергию в процессе взаимодействия с лопатками роторов.

В качестве лопаток используют лопасти или другие цилиндрические поверхности, профиль которых соответствует крыльевому (закругленная передняя и острая задняя кромки криволинейного цилиндра). Поэтому лопаточные гидравлические машины иногда называют лопастными.

К лопаточным машинам относят компрессоры, турбины и насосы, обменивающиеся с жидкостью кинетической энергией, т. е. преобразующие динамический напор жидкости в потенциальную энергию, хотя преобразование потенциальной энергии давления в кинетическую в лопаточных каналах также имеет место (в отличие от лопаточных машин объемные гидравлические машины обмениваются с жидкостью только потенциальной энергией, или энергией давления). Это более сложное взаимодействие потока жидкости с элементами гидравлической машины

впервые использовал инженер А. А. Саблуков, который в 1835 г. сконструировал центробежный насос.

В центробежных насосах жидкость движется от оси вращения рабочего органа (крыльчатки) к периферии. К лопаточным гидравлическим машинам относятся также осевые насосы, в которых жидкость движется вдоль оси вращения крыльчатки.

В струйных насосах струя высоких энергетических параметров (большого давления или имеющая высокую скорость движения) увлекает за собой (эжектирует или инжектирует) относительно большой объем окружающего воздуха. Эжекторами называют струйные насосы, в которых струя высоких энергетических параметров охватывает струю низких параметров, а инжекторами — в которых струя высоких параметров охватывается подсосываемой струей.

Объемными называют насосы, в которых энергия передается жидкости путем периодического изменения размеров замкнутого объема при попеременном сообщении его со входом и выходом насоса. Класс объемных насосов включает поршневые насосы и различные типы роторных: шестеренные, пластинчатые, плунжерные, винтовые (шнековые) и ротационные (воздуходувки).

Гидромуфты предназначены для привода устройств, обладающих большой массой (например, тепловозы), а также для предотвращения поломок электропривода в случае, когда рабочий орган машины встречает препятствие. На выходном валу электропривода установлена турбина, которая вращается в корпусе гидромуфты, заполненной маслом. В гидромуфте установлена также турбина, которая жестко связана с валом механизма, приводимого во вращение. Таким образом, в гидромуфте вращательный момент от электропривода к исполнительному механизму передается с помощью потока масла, и нет жесткой связи между валами электропривода и исполнительного механизма.

Гидротрансформаторы предназначены для повышения или понижения давления при передаче его из одной сети в другую. Принцип работы гидротрансформаторов основан на различиях площадей поршней,

находящихся в смежных камерах гидротрансформатора. Эти поршни связаны друг с другом штоком. Давление будет меньше в той камере, где находится шток большей площади.

В классификацию, не включена группа специальных гидравлических машин пищевых производств, в которую входят следующие типы насосов: мембранные, для подачи свеклы, перекачивания пива, высоковязких масс, струйные, трубчатые, повышенной гигиеничности, вихревые, винтовые, лабиринтные, а также дозаторы.

В указанную классификацию не включены также компрессоры и вакуумные насосы.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН

Все гидравлические машины, за исключением вихревого и поршневого насоса с самодействующими клапанами, являются обратимыми. Это означает, что принципиальных отличий в устройстве насосов и гидродвигателей нет. Обратимая гидромашина может работать как в режиме насоса, так и в режиме двигателя, если в него со стороны магистрали высокого давления подать это давление, а со стороны входа жидкости организовать ее слив.

Основная характеристика объемной гидравлической машины—ее рабочий объем (V_0). Идеальная подача объемного насоса (без учета потерь) определяется выражением

$$Q = nV_0$$

где n — частота рабочих циклов.

Если в машине z насосов и за один оборот вала их привод осуществляет k рабочих циклов, то

$$Q = nkzV_k$$

где V_k — рабочий объем камеры, м^3

Полезная мощность насоса

$$N_p = Qp_n$$

где p_n — повышение давления в насосе, равное разности давлений на выходе p_2 и на входе в него p_1 .

В технических характеристиках гидравлических машин значения частоты вращения обычно приводятся в оборотах в минуту, а значения подачи — в кубических метрах в час или в метрах в минуту. Для получения значения мощности в ваттах необходимо перевести частоту вращения в обороты в секунду, а подачу — в кубические метры в секунду. Давление при этом должно измеряться в паскалях.

Потребляемая насосом мощность N больше полезной N_p на величину потерь.

ПОРШНЕВЫЕ НАСОСЫ

К поршневым относят все объемные гидравлические машины, рабочие камеры которых образуются цилиндрами и поршнями.

В поршневом насосе простого (однократного) действия за один оборот приводного вала поршень совершает два хода, из которых один используется для всасывания из емкости A , другой — для нагнетания жидкости.

При вращении кривошипа 1 вокруг оси приводного вала поршень 4, связанный шарниром с шатуном 2, совершает возвратно-поступательные

движения в цилиндре 3. Насос снабжен двумя самодействующими (не имеющими собственного привода) клапанами — всасывающим 5 и нагнетательным 6. Клапаны обеспечивают вход жидкости в цилиндр 3 из всасывающей магистрали при движении поршня вправо и выход ее из цилиндра в магистраль нагнетания при движении поршня влево. Ползун (крейцкопф) 7 служит для разгрузки поршня от боковых усилий в кривошипно-шатунном механизме. Один раз за цикл, т. е. за один оборот кривошипа, насос всасывает жидкость через всасывающий трубопровод и один раз выталкивает ее в магистраль высокого давления.

Теоретическая средняя подача насоса (m^3/c)

$$Q = FSn$$

где $FS = V_T$ — объем жидкости, подаваемой поршнем за один ход, m^3 ; n — число двойных ходов в секунду, $1/c$.

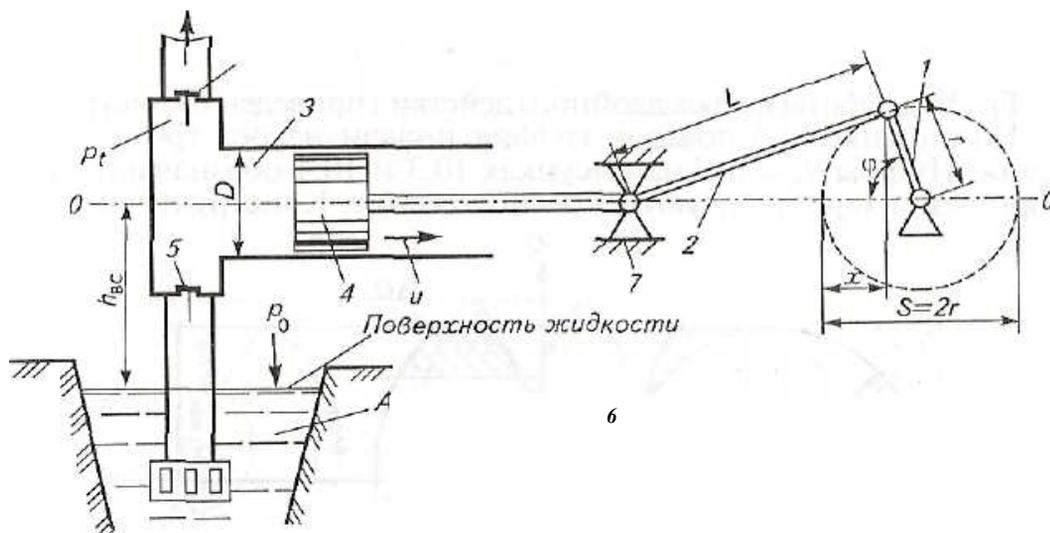


Рис. 3. Схема поршневого насоса простого действия:

1 — кривошип; 2 — шатун; 3 — цилиндр; 4—поршень; 5—всасывающий клапан; б —нагнетательный клапан; 7—ползун (крейцкопф); h_{bc} - геометрическая высота всасывания; p_0 — давление на поверхности жидкости; p_1 -давление в рабочей камере в момент времени t , r — радиус кривошипа; L —длина шатуна; S —ход поршня; u — скорость поршня; x — путь, пройденный поршнем.

Фактическая подача насоса (m^3/c)

$$Q_{\phi} = (2F - f)Sn$$

где F — площадь поршня; f — площадь штока.

Путь x , пройденный поршнем в заданный момент времени, его скорость u и ускорение w определяются зависимостями

$$x = r(1 - \cos\phi); u = r\omega \sin\phi; w = r\omega^2 \cos\phi.$$

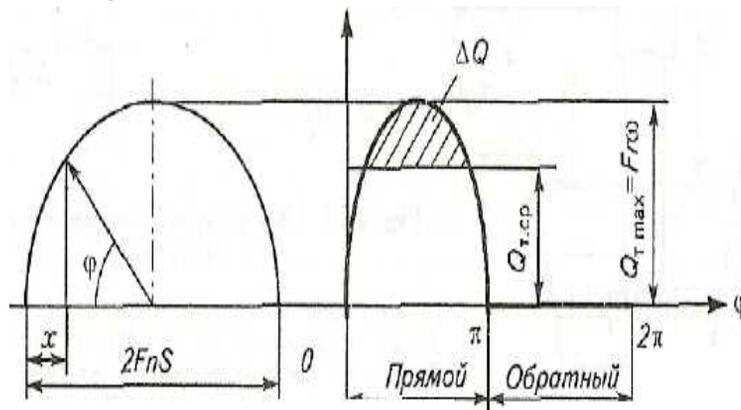
Следовательно, мгновенная подача насоса (m^3/c)

$$q = Fr \sin \phi.$$

Из последнего уравнения следует, что мгновенная подача насоса простого действия изменяется по синусоидальному закону.

Для насоса двойного действия теоретическая средняя подача определится выражением $Q_{\text{max}} = 2F 2rn$, а максимальная выражением

$$Q_{\text{max}} = Fr\omega$$



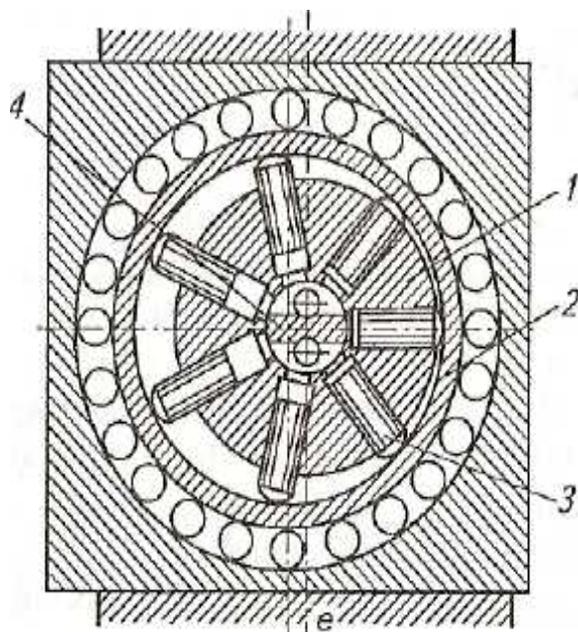
РОТОРНЫЕ РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНЫЕ НАСОСЫ

Схема роторного радиально-плунжерного насоса (иногда его называют радиально-поршневым) показана на рисунке 10.7, а пример его конструктивного решения дан на рисунке 10.8.

В радиальном плунжерном насосе в роторе 1, вращающемся с эксцентриситетом e относительно статора 2, звездообразно расположены цилиндры с плунжерами 3. Жидкость входит в насос и выходит из него через отверстия в распределительном золотнике 4. Подача насоса регулируется изменением хода плунжеров путем изменения эксцентриситета, который, в свою очередь, регулируется перемещением статора 2 в неподвижных направляющих при неизменном положении оси ротора в пространстве. Число рядов (плоскостей), в которых располагаются плунжеры насосов, может увеличиваться до 3...4. В ряду располагаются 5... 13 цилиндров

Рис. 4. Схема роторного радиально-плунжерного насоса:

1—ротор; 2 — статор; 3 — плунжер; 4— золотник



Радиально-плунжерные насосы используют при малых скоростях вращения вала при больших крутящих моментах на нем. Это особенно выгодно при использовании данных устройств в качестве гидромоторов непосредственного привода колес транспортных машин.

При вращении ротора, например по часовой стрелке, поршни совершают сложное движение — они вращаются вместе с ротором и движутся возвратно-поступательно в своих цилиндрах так, что постоянно контактируют с направляющей статора. Поршни прижимаются к статору центробежными силами. В рабочих камерах, расположенных ниже горизонтальной линии, поршни перемещаются от распределительного золотника 4, а рабочие камеры соединены со всасывающей полостью. Объемы рабочих камер увеличиваются, поэтому рабочая жидкость заполняет их. Так происходит процесс всасывания. На участке горизонтальной перемычки распределительного золотника, который называют также цапфенным распределителем, поршни не совершают поступательного движения и, следовательно, объемы рабочих камер не изменяются. Рабочие камеры, расположенные выше горизонтальной линии, соединены с полостью нагнетания. Поршни в этих камерах перемещаются в направлении к распределительному золотнику и вытесняют рабочую жидкость из рабочих камер к выходу из насоса. Так происходит процесс нагнетания.

Для увеличения рабочего объема радиально-плунжерные насосы делают иногда многорядными. Оси поршней располагаются в нескольких параллельных плоскостях.

РОТОРНЫЕ АКСИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНЫЕ НАСОСЫ

Схемы роторных аксиально-плунжерных насосов показаны на рисунке 5, причем ось цилиндрического блока может совпадать с осью приводного вала (рис. 5, а) либо с осью наклонной шайбы (рис. 5, б). Длинные поршни-плунжеры (отношение их длины к диаметру a' больше 5) аксиально-плунжерных насосов совершают возвратно-поступательные движения в блоке цилиндров. Блок цилиндров приводится во вращение от вала (см. рис. 5, а) либо получает вращательное движение через плунжеры (см. рис. 5, б), а во вращение приводится наклонная шайба. Число цилиндров в аксиально-плунжерных насосах равно 7...9, частота вращения от 500...700 об/мин до 4000 об/мин и более в зависимости от мощности.

Производительность аксиально-плунжерных насосов регулируется углом наклона шайбы относительно блока цилиндров. Значение этого угла колеблется в пределах $10^\circ < \gamma < 30^\circ$. Это позволяет регулировать подачу насоса при постоянной мощности в диапазоне 1...2,5 от ее средней величины.

При подаче давления p_n под поршень регулирующего цилиндра он преодолевает сопротивление возвратной пружины 5 и через шток 3

поворачивает наклонную шайбу 4 относительно оси 6. В результате этого изменяется угол ее наклона γ , что приводит к изменению хода плунжеров.

Аксиально-плунжерные насосы разделяются по конструкции на две группы:

1) с наклонной шайбой (см. рис. 5, а). В них ось блока цилиндров совпадает с осью приводного вала;

2) с наклонным цилиндрическим блоком (см. рис. 5, б). В них ось приводного вала совпадает с осью наклонной шайбы.

В насосах первой группы наклонная шайба неподвижна; в насосах второй группы она вращается в плоскости, перпендикулярной оси вращения приводного вала.

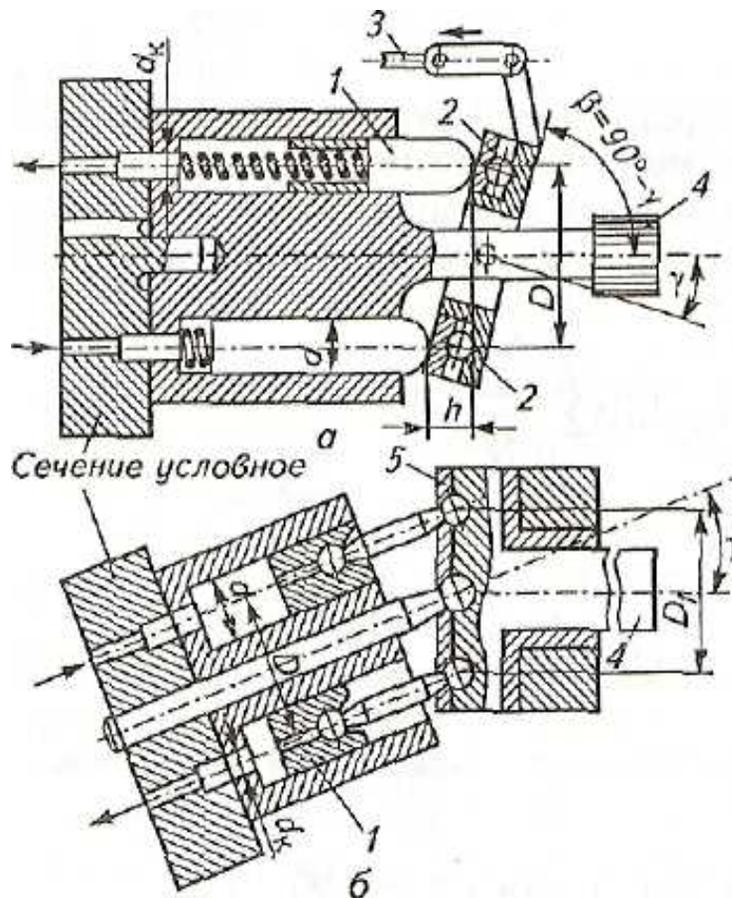


Рис. 5 Схемы роторных аксиально-плунжерных насосов:

а — ось цилиндрического блока совпадает с осью приводного вала; **б** — ось цилиндрического блока совпадает с осью наклонной шайбы; 1 — поршень; 2 — шайба; 3 — шток; 4 — ось; 5 — ведущий диск; d — диаметр поршней; h — ход поршней; d_k — диаметр отверстий для входа и выхода жидкости; D — диаметр окружности, по которой перемешаются поршни; D_1 — диаметр окружности, на которой закреплены сферические головки шатунов; γ — угол наклона шайбы и ведущего диска

КАВИТАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОРШНЕВЫХ И РОТОРНЫХ ПЛУНЖЕРНЫХ НАСОСАХ

Кавитация (от латинского *cavitas* — пустота) состоит в образовании разрывов сплошности жидкости вследствие понижения давления. Кавитационные явления в поршневых насосах имеют общую природу с соответствующими явлениями во всех насосах. Кавитация возникает там, где давление в жидкости становится меньше давления ее насыщенных паров, т. е. давления, при котором она вскипает во всем объеме. Особенность реализации кавитации в поршневых насосах заключается в том, что самые низкие давления в них возникают не во входных магистралях, как в динамических насосах, а в цилиндрах, причем в той их части, где в данный момент располагается рабочая поверхность движущегося поршня. Это вызвано тем, что всасывание жидкости в поршневые насосы обеспечивается движением поршней. Разность давлений перед входом в насос и в цилиндре складывается из затрат давления на подъем жидкости на высоту всасывания, преодоление потерь давления в подводящем тракте, на клапане и в цилиндре, а также на создание скоростного напора движущейся в цилиндре жидкости.

ШЕСТЕРЕННЫЕ НАСОСЫ

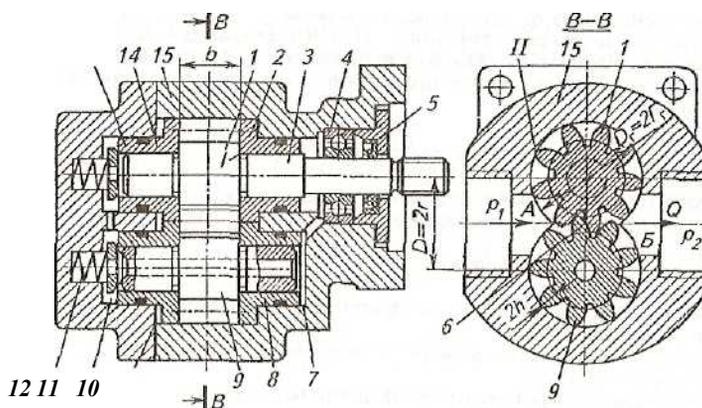
Шестеренные насосы выполняют с шестернями наружного или внутреннего зацепления. Наиболее распространены насосы с цилиндрическими шестернями наружного зацепления.

В *шестеренном насосе* (рис. 6) две шестерни, находящиеся в постоянном зацеплении, захватывают жидкость во всасывающей полости, переносят ее во впадинах шестерен к нагнетательной полости и выдавливают жидкость в нее, входя в зацепление.

Чаще всего в зацеплении находятся одинаковые шестерни 1 и 9, которые находятся в камере. Камеру образуют корпус 75 и боковые диски 2 и 14. По обе стороны области зацепления b в корпусе имеются полости А и Б, соединенные с линиями высокого p^{\wedge} и низкого p^{\vee} давления. Торцы //зубьев трутся о корпус 15, приводной вал 3 вращается в подшипнике скольжения 13 и в подшипнике качения 4 с сальниковым уплотнением 5, шестерня 9 вращается в подшипнике скольжения 8. Утечки из области, находящейся под давлением p^{\wedge} в область с давлением p^{\vee} происходят через торцевые зазоры /, радиальные зазоры //и неплотности зацепления в области б. Для уменьшения утечек 1! камеры 7#поддиск 74подводят жидкость под давлением p_2 .

13

Рис. 6. Шестеренный насос с наружным зацеплением:



1,9— шестерни; 2, 14—диски; 3 — приводной вал; 4— подшипники; 5 — сальник; 6—область зацепления; 7, // — полости; 8, 13 —подшипники скольжения; 10— камера; /2—пружина; /5— корпус

Начальный поджим осуществляется пружинами 12. Для отвода утечек области II и 7 за торцами осей шестерен соединяют с областью, находящейся под давлением p_1 .

Шестеренные насосы характеризуются высокой надежностью и долговечностью, малыми габаритами и массой. У насосов общемашиностроительного применения отношение массы к мощности около 2 кг/кВт. Такие насосы рассчитаны на давления около 10МПа с подачей, достигающей 500дм³/мин. Объемный КПД при работе на масле вязкостью $\nu = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ при давлении $p = 2,5 \text{ МПа}$ и подаче $Q = 140\text{дм}^3/\text{мин}$ достигает 0,89.

Подачу насоса определяют при условии, что объем каждой впадины между зубьями равен объему самого зуба. В этом случае теоретическая подача насоса за один оборот

$$q_t = 2\pi D_n m b$$

где D_n — диаметр начальной окружности, м; m — модуль зуба, м; b — ширина шестерни (длина зуба), м.

Средняя теоретическая подача ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$Q_t = 2\pi D_n^2 b n$$

где n — частота вращения шестерни, об/с.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Центробежный насос (рис. 7) представляет собой крыльчатку (колесо с лопастями), вращающуюся в корпусе.

Через заборник 5 жидкость поступает на крыльчатку 4 центробежного насоса в осевом направлении вблизи оси ротора 1, захватывается лопастями и отбрасывается к периферии центробежными силами. На выходе из крыльчатки жидкость обладает большей кинетической энергией, чем на входе в нее, т. е. она приобретает дополнительный динамический напор. В коллекторе корпуса 2, свернутом в улитку и расположенном на периферии крыльчатки, жидкость собирается и направляется в расширяющийся патрубок (диффузор) 3, в котором часть приобретенного ею дополнительного динамического напора преобразуется в потенциальную энергию давления. Диффузор присоединяется к выходной магистрали.

Напор одноступенчатых центробежных насосов (с одним рабочим колесом) ограничен и не превышает 50 м. Для создания более высоких напоров применяют многоступенчатые насосы, имеющие несколько рабочих колес в общем корпусе. Эти колеса расположены последовательно на одном валу. Жидкость, выходящая из первого колеса, поступает на вход второго, где ей сообщается дополнительная энергия. Из второго колеса жидкость поступает на вход третьего и т. д. Таким образом, ориентировочно (без учета потерь) можно считать, что напор многоступенчатого

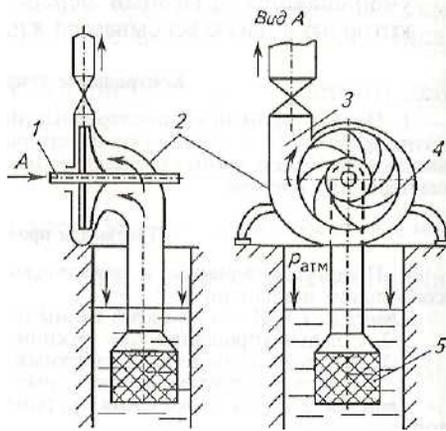


Рис. 7. Схема водяного центробежного насоса:

1 — ротор; 2 — корпус; 3 — диффузор; 4 —
крыльчатка; 5 — заборник воды

насоса равен напору одноступенчатого колеса, умноженному на число колес. Число работающих колес в многоступенчатом насосе обычно не превышает пяти.

Центробежные насосы широко применяют в пищевой промышленности для перекачивания различных фруктовых масс, сиропов и других жидкостей. На свеклосахарных заводах центробежные насосы используют для подачи чистой воды, сока, горячих конденсатов, циркулирующих и нефилтрованных соков, транспортерно-мочных вод, сточных вод, жомоводяной смеси, свеклы совместно с водой из гидравлического транспортера и т. п.

Преимущества их следующие: малая металлоемкость, сравнительно небольшая масса, легкий фундамент; малая занимаемая площадь, а также более низкая стоимость в сравнении с поршневыми насосами; высокая производительность при равномерной подаче жидкости; непосредственное-соединение с электродвигателями; простота пуска, регулирования, ремонта и обслуживания; отсутствие всасывающих и нагнетательных клапанов и,

следовательно, меньшая чувствительность к загрязнениям перекачиваемой жидкости; высокая надежность в работе и долговечность.

Недостаток центробежных насосов — низкий КПД при малой подаче (ниже $0,25 \dots 0,30 \text{ м}^3/\text{с}$) вследствие уменьшения площади поперечного сечения проточных каналов и увеличения в связи с этим гидравлических сопротивлений. Особенно это сказывается в случаях, когда наряду с низкой подачей требуется создать большой напор. Поэтому в случае малой подачи насоса, и особенно в сочетании с высшим напором, предпочтительно применять, например, поршневые насосы.

Литература: 1, с.15-20; 7, с.324

Тема 4 Аэродинамические процессы

Цель: изучить основные закономерности аэродинамических процессов .

План: основные принципы расчета систем аспирации; свойства пыли; требования к системам аспирации и пневмотранспорта; проектирование систем аспирации и пневмотранспорта.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ КАК СЛОЖНОЙ ПНЕВМОСИСТЕМЫ

Аспирация (от лат. aspiration — вдыхание) — это отсос воздуха из оборудования с целью создания внутри рабочих пространств или защитных кожухов вакуума, необходимого для предотвращения выделения пыли в производственные помещения. Цель аспирации — создание здоровых условий труда для работающих, уменьшение взрыво- и пожаробезопасности производственной среды и охлаждение технологических продуктов и оборудования. В конкретных случаях практическое значение могут иметь не все эти функции аспирационных систем, а только их часть.

Аспирационная система представляет собой, как правило, более или менее сложную пневматическую систему, включающую следующие основные устройства: пылеуловители, вентиляторы и воздуховоды.

Принципиально такие системы не имеют различий по сравнению с любой пневматической или гидравлической системой, элементы которых рассмотрены ранее. Новыми здесь являются особые свойства транспортируемого продукта, а также специфичные числовые значения аэродинамических сопротивлений отдельных элементов этих систем.

Существенно облегчает работу конструкторов аспирационных систем наличие хорошо систематизированного обширного экспериментального

материала по аэродинамическим сопротивлениям типовых элементов данных систем, а также рекомендаций по их конструированию.

В основу расчета аспирационных систем положены следующие принципы.

Побудителями движения воздушных потоков и переносимых ими продуктов служат вентиляторы или воздуходувки.

Аэродинамическая характеристика вентилятора представляет собой зависимость между основными его параметрами: расходом (подачей) Q , напором, частотой вращения и КПД

Вся энергия, полученная от побудителя, расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений магистралей и других устройств системы. Баланс напоров устанавливается автоматически в результате естественного изменения расхода воздуха.

Аэродинамические сопротивления воздушных потоков разделяются на местные, или сосредоточенные, и распределенные по длине, или сопротивления трения.

Каждый расчет аспирационной системы является, по существу, решением задачи, в которой для заранее известной схемы соединения стандартных трубопроводов и заданного расхода аспирируемого воздуха определяют гидравлические сопротивления. Для этого используют обширные справочные данные по значениям коэффициентов Дарси и Вейсбаха рекомендуемых элементов системы аспирации.

ОСОБЫЕ СВОЙСТВА ПЫЛИ

Закономерности осаждения пыли в воздухе. Принципиально они не отличаются от закономерностей осаждения любых твердых частиц в сплошной среде, рассмотренных в соответствующих разделах курса.

Особые свойства пыли. Тонкоизмельченные частицы имеют специфические свойства, которыми не обладают относительно крупные частицы. Это связано с тем, что одна из основных сил, определяющих витание частиц, — сила веса, которая определяется объемом частиц и их плотностью. Другими силами, которые могут оказать влияние на поведение частиц, взвешенных в воздухе, являются:

адсорбционная активность, от которой зависит интенсивность осаждения на частицах паров и воздуха;

адгезионные силы, определяющие способность частиц удерживаться на твердых ограничивающих поверхностях;

способность присоединять и переносить ионы, появляющиеся в воздухе при его электризации;

повышенная химическая активность при окислении кислородом воздуха.

Все указанные свойства определяются площадью поверхности частиц. Соотношение этих сил с силой веса зависит от соотношения площади поверхности и объема частиц, т. е. от величины

$$A = S/V = 6/d$$

Видим, что с уменьшением диаметра частиц соотношение A увеличивается, стремясь к бесконечности при $d \rightarrow 0$. Это соответствует сколь угодно большому относительному увеличению указанных новых сил по отношению к силе веса. В результате мелкие частицы пыли приобретают новые свойства, которых не имеют более крупные частицы. Они могут: усиленно оседать на твердых поверхностях аспирационных систем, включая вертикальные и потолочные поверхности; увлажняться влагой воздуха и слипаться одна с другой и с ограничивающими поверхностями; переносить заряды статического электричества между элементами аспирационных систем; гореть и образовывать взрывчатые смеси с воздухом.

Эти особые свойства настолько сильны, что для отрыва частиц мучной пыли, «прилипших» к потолочным и вертикальным поверхностям аспирационных систем, скорость воздушного потока должна в десятки раз превышать скорость витания частиц.

Особые свойства мелких частиц необходимо учитывать при конструировании воздухопроводов, но в расчетах это сводится лишь к изменениям количественных характеристик коэффициентов при сохранении их общих принципов и методов.

Пыль, например на предприятиях хлебопродуктов, разнообразна и по дисперсности, и по химическому составу, что, как следствие, определяет разнообразие результатов ее воздействия на организм человека, пожаро-, взрывоопасность и другие свойства.

Пыль с размерами взвешенных в ней частиц до 10 мкм называют мелкодисперсной, с размерами 10...70 мкм — среднедисперсной, а более крупную — крупнодисперсной.

Пылевоздушную смесь называют *аэрозолем* или аэровзвесью, а пыль, осевшую на твердой поверхности и образовавшую на ней пространственные структуры из связанных одна с другой частиц, — *аэрогелем*. Мелкодисперсный аэрогель легко переходит во взвешенное состояние — аэрозоль.

По химическому составу пыли разделяют на органические (растительного, животного и синтетического происхождения), неорганические (минеральные, металлические) и смешанные. Зерновая пыль смешанная: она содержит частицы колосьев, соломы, цветковых пленок, оболочек и примесей минеральных веществ. В пыли элеваторов содержится до 50 % минеральных веществ.

Пылеуловители

Пылеуловители предназначены для очистки воздуха от пыли. В них может использоваться механические, электрические, химические и

комбинированные способы очистки. К пылеуловителям относятся осадочные камеры, циклоны и фильтры.

Эффективность очистки воздуха от пыли определяется коэффициентом очистки

$$h = a - a_0 / a$$

a и a_0 – концентрация пыли на входе в пылеуловитель и на выходе из него, мг/м³.

Осадочные камеры – это гравитационные пылеуловители. В них воздух проходит через горизонтальную камеру. По мере движения воздуха в горизонтальном направлении частицы пыли опускаются в вертикальном направлении.

Коэффициент очистки воздуха с помощью циклонов не превышает 96%.

ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ АСПИРАЦИИ И ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Вентиляционные (аспирационные) установки должны удовлетворять следующим требованиям:

строительным нормам и правилам (СНиП);

противопожарным требованиям;

требованиям техники безопасности;

требованиям технической эксплуатации вентиляционных установок.

Требования СНиП отражают санитарно-гигиенические условия на рабочих местах. В соответствии с этими требованиями запыленность воздуха не должна превышать 2...6 мг/м³. Для этого необходимо:

аспирировать все рабочее оборудование, включая вспомогательное и бункера с сыпучими продуктами;

максимально герметизировать все оборудование, включая самотечные трубы;

места открытого пылеобразования закрывать герметизирующими кожухами с их обязательной аспирацией;

снижать вакуум в рабочих помещениях, предусматривая 1... 1,5-кратный обмен воздуха в час, обеспечивая температуру в помещениях мельниц и крупозаводов в пределах 15...20 °С, относительную влажность воздуха 60...70 % и скорость его движения не более 0,7 м/с;

применять высокоэффективные пылеуловители с коэффициентом очистки, обеспечивающим выброс воздуха в атмосферу с запыленностью не более 1,2 мг/м³.

Для обеспечения эксплуатационной надежности аспирационных и пневмотранспортных систем необходимо:

ограничивать число точек отсоса в одной системе величиной 6...10;

избегать соединения потоков теплого и холодного воздуха для ликвидации возможного выпадения влаги. При необходимости их объединения проверять вероятность выпадения влаги с использованием диаграммы влажного воздуха; оборудование с регулируемым режимом движения воздуха (сепараторы, ситовые машины) аспирировать собственными местными системами;

в горизонтальных воздуховодах выбирать скорость движения воздуха не менее 12 м/с;

не применять воздуховоды диаметром менее 80...100 мм;

не применять слишком длинных горизонтальных воздуховодов запыленного воздуха;

при возможности поступления продукта, чрезмерно засоренного соломистыми примесями, применять пылеуловители с большими проходными сечениями;

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АСПИРАЦИИ И ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Проектирование систем аспирации и пневмотранспорта включает следующие этапы.

1. Выявляют оборудование и его элементы, подвергаемые аспирации, потребные расходы воздуха на их аспирацию и потери давления в них.

2. Рассчитывают кратность воздухообмена в помещении. Если он побуждается только аспирацией, кратность воздухообмена определяют по формуле

$$I = Q / V$$

где Q — расход воздуха, удаляемого из помещения при аспирации, $\text{м}^3/\text{ч}$; V — объем помещения, м^3 .

В объем помещения включают объемы всех вспомогательных помещений (чердаки, галереи, коридоры и др.), соединяющихся с основным. Если полученная кратность воздухообмена меньше допустимой (1...1,5 в час), то останавливаются на принятом решении, выбрасывая отработавший воздух в атмосферу. В противном случае проектируют две или три системы аспирации, из части которых воздух возвращают в помещение через специальный кондиционер. Похожая проблема возникает, если возможно переохлаждение продукта в зимнее время вследствие чрезмерного подсоса наружного воздуха.

3. Компонуют схемы вентиляционных сетей. При этом конструктор использует различные принципы компоновки.

3. Для выбранной схемы аспирационной сети по табличным данным подбирают пылеуловители и вентиляторы. При этом учитывают наличие подсоса воздуха из окружающей среды, составляющего в среднем 5 % расчетного его расхода для воздуховодов, 15 % — для всасывающих фильтров, 150 $\text{м}^3/\text{ч}$ — для каждого шлюзового затвора

и по $100\text{м}^3/\text{ч}$ — для каждого клапана, отключающего отдельные точки аспирационной сети. Ориентировочные давления вентиляторов, приблизительно равные ориентировочным сопротивлениям аспирационных сетей, принимают равными $1600\text{...}1800$ Па. Ориентировочные сопротивления сетей уточняют сложением потерь давления аспирируемой машины, потерь давления подобранных и последовательно установленных пылеуловителей и воздухопроводов. Потери давления в воздуховодах можно принимать равными 15 Па на 1 м длины главной магистрали с учетом потерь на фасонных участках сети. При подборе вентилятора к сети с фильтром потери давления до фильтра принимают не менее 675 Па (для создания вакуума с целью эффективной продувки тканей).

При подборе вентиляторов учитывают, что вентиляторы ВЦП развивают давление до 2000 Па. При необходимости создания больших давлений выбирают вентиляторы УП7-10, развивающие давление до 4000 Па. На очищенном воздухе используют вентиляторы общего назначения Ц4-70 или Ц9-57 в зависимости от фактического значения КПД.

5. Выбранные пылеуловители и вентиляторы размещают в аспирационной сети, учитывая следующие рекомендации:

вентилятор и пылеуловитель устанавливают как можно ближе один к другому, по возможности с соблюдением симметрии относительно остального оборудования;

всасывающий фильтр монтируют как можно дальше от аспирируемой машины с большим сопротивлением, создавая этим необходимый вакуум для продувки ткани;

требуются как можно большие проходы вокруг вентиляторов для их обслуживания. Циклоны же, наоборот, можно размещать в углах здания, вблизи стен и даже на выносных площадках и чердаках. При длинных трассах главной магистрали вентилятор целесообразно монтировать в ее середине, а не в конце: это превращает последовательно установленные магистрали в параллельные и снижает потери давления.

Диаметры воздухопроводов (м)

$$D = 19(Q/v)^{0.5}$$

где Q —объемный расход воздуха, $\text{М}^3/\text{ч}$; v —скорость движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$; $v=12\text{...}13\text{м}/\text{с}$,

Прокладывая трассы воздухопроводов, учитывают следующие основные рекомендации:

трассы проводят по кратчайшему пути, но параллельно или перпендикулярно стенам и балкам;

минимальная высота от пола до выступающих частей воздухопроводов должна быть не менее $2,2$ м;

горизонтальные воздуховоды малого диаметра заменяют наклонными под углом 60° к горизонту (везде, где это не противоречит эстетическим правилам).

Выполнив перечисленные выше операции предварительной компоновки системы аспирации, проводят ее расчеты. Для них составляют (без масштаба) расчетную схему сети с указанием длин, диаметров и других параметров. Потери давления на стандартных участках сетей и агрегатах определяют по их справочным данным. Нормальный вакуум в помещениях берут равным 50 Па. Определяя потери давления по участкам магистрали, складывают их при последовательном соединении участков и пытаются выравнять для параллельных участков. Расчеты участков аспирационных сетей оформляют в виде расчетных таблиц, в которых обобщают результаты расчета:

расхода воздуха, скорости его движения, диаметров, потерь давления на 1 м длины воздуховода, длины, общих потерь давления по всей длине, суммы коэффициентов местных сопротивлений, динамического напора на расчетном участке ($\rho v^2/2$); потерь давления на местных сопротивлениях; суммарных потерь давления на участке; суммарных потерь давления на всей магистрали. При определении коэффициентов местных сопротивлений их разделяют на потери на диффузорах и конфузорах, на отводах и коленах, на тройниках с учетом их конструктивных особенностей (углов, диаметров, соотношения площадей сопрягаемых деталей и др.). Все эти данные заносят в таблицы, а данные о соответствующих местных сопротивлениях берут по справочникам.

Потери давления в параллельных магистралях выравнивают либо изменением диаметра магистральных трубопроводов, либо установкой дроссельных шайб.

По уточненным значениям расходов и потерь давления уточняют выбор вентиляторов. Конструкции кожухов для аспирации технологического оборудования также рекомендуется выбирать по справочным данным.

Литература: 1, с.15-20; 7, с.324-344

Тема 5 Тепловые и холодильные процессы.

Цель: изучить тепловые и холодильные процессы используемые в производстве пищевых продуктов.

План: простые и сложные процессы; аппараты для нагревания и охлаждения; схемы теплообменников; выпаривание; конденсация; способы охлаждения; цикл Карно, энтропия.

ПРОСТЫЕ И СЛОЖНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

В пищевых производствах используют многочисленные тепловые процессы: нагревание и охлаждение, конденсацию паров, кипение, выпаривание и др. Их

можно разделить на простые процессы и сложные, состоящие из простых. К простым тепловым процессам относят: теплопроводность, конвекцию, тепловое излучение.

Тепловые процессы реализуются в теплообменных аппаратах (теплообменниках).

Теплопроводность — перенос теплоты (внутренней энергии) при непосредственном соприкосновении тел с различной температурой. Энергия беспорядочных (случайных) тепловых колебаний молекул при этом передается от одного тела другому или от одной части тела другим его частям путем непосредственных соударений молекул подобно передаче движения при соударении шаров. Хотя такое представление о взаимодействии молекул в значительной степени упрощено, его использование в описаниях процессов теплопередачи оправдано практикой.

Конвекция — это перенос теплоты в пространстве вместе с движущимися объемами газа или жидкости. Каждый движущийся объем среды в этом процессе никуда свою энергию не передает, поток теплоты движется вместе с ним. Искусственная, или вынужденная, конвекция отождествляется с потоком среды, созданным вентилятором или насосом. Естественная, или тепловая, конвекция обусловлена архимедовыми силами, возникающими вследствие разности плотностей подогреваемых объемов среды.

Тепловое излучение (тепловая радиация) — это явление переноса теплоты электромагнитными волнами. При этом происходит двойное преобразование энергии: вначале энергия теплового движения молекул преобразуется в энергию электромагнитного излучения (в соответствии с законом Стефана—Больцмана энергия электромагнитного излучения пропорциональна четвертой степени температуры поверхности тела), а затем происходит поглощение электромагнитного излучения другим телом и превращение ее в энергию теплового движения молекул. Воздух, через который передается тепловое излучение, практически не нагревается, т. е. он диатермичен.

Важная особенность теплового излучения — подвод теплоты не непосредственно к поверхности, а в глубине высушиваемого материала. Это становится возможным благодаря проникающей способности электромагнитных волн в данном диапазоне их длин. Если изобразить на графике спектр длин волн электромагнитных излучений, то в нем можно выделить диапазоны: у-излучение ($\lambda = 0,5 - 10^{-4}$ нм и менее); рентгеновское излучение; ультрафиолетовое излучение; видимое излучение; инфракрасное излучение; радиоволновое излучение.

Теплоту переносят волны длиной $0,6 \dots 10^4$ мкм. Этот диапазон охватывает красное, инфракрасное и сверхвысокочастотное (СВЧ) радиоволновое излучение.

Инфракрасное излучение разделяют на коротковолновое ($\lambda = 0,77 \dots 15$ мкм), средневолновое ($\lambda = 15 \dots 100$ мкм) и длинноволновое ($\lambda = 100 \dots 340$ мкм). При температуре излучающей поверхности $700 \dots 2500$ °С излучаются волны длиной $1,55 \dots 2,55$ мкм. Излучатели с такими температурами поверхности

называют светлыми. При более низких температурах поверхности излучатели называют темными.

По проникающей способности эти волны характеризуются таким образом: полностью поглощаются или отражаются поверхностью материалов волны видимого диапазона ($\lambda = 0,40 \dots 0,77$ мкм). При выходе за этот диапазон в обе стороны увеличивается способность волн проникать в глубину или проходить сквозь материалы. Если волны так называемого ближнего или коротковолнового инфракрасного диапазона длин ($\lambda = 0,77 \dots 15$ мкм) проникают в высушиваемые изделия на глубину $0 \dots 2$ мм, то волны СВЧ диапазона — на глубину нескольких сантиметров, а с увеличением их длины — до десятков сантиметров. По мере проникновения в изделия они поглощаются и нагревают их как бы изнутри.

Сложный тепловой процесс — это совокупность двух или более простых. Любой перенос теплоты в пространстве называют теплопереносом, а любой обмен теплотой между физическими телами — теплообменом.

Теплопередача — сложный теплообмен между средами, разделенными поверхностью контакта фаз этих сред или твердой стенкой.

Тепловой поток Q (Вт) — количество теплоты, проходящей в единицу времени через произвольную поверхность.

Удельный тепловой поток q (Вт/м²), или поверхностная плотность теплового потока, — тепловой поток, отнесенный к единице площади поверхности F (м²):

$$q = Q/F$$

Линейная плотность теплового потока q_n (Вт/м) — тепловой поток, отнесенный к единице длины поверхности L (м):

$$q_n = Q/L.$$

Этот показатель обычно используют при описании теплопередачи через трубы.

Тепловой поток (Дж/с) выражается через массовый расход теплоносителя M и разность его энтальпий D (Дж/кг) в рассматриваемом устройстве:

$$Q = Mi.$$

Энтальпия складывается из энергии, аккумулированной (запасенной) телом, и энергии, которая может высвободиться или поглотиться при фазовом переходе, растворении, сорбции или другом процессе, реализующемся параллельно с теплообменом.

Разность энтальпий теплоносителя (Дж/кг) при отсутствии фазового перехода может быть выражена через произведение удельной теплоемкости c [Дж/(кг ■ К)] на разность температур D (К). В случае фазового перехода D (разность энтальпий в начале и в конце этого процесса) можно приравнять к теплоте фазового перехода (Дж/кг).

Аппараты для нагревания и охлаждения.

Нагревание и охлаждение продуктов осуществляется в теплообменных аппаратах (теплообменниках), в которых теплота передается от одного теплоносителя другому. Аппараты для нагревания и охлаждения могут быть простыми теплообменниками, выпарными аппаратами, конденсаторами, пастеризаторами, испарителями, деаэраторами, экономайзерами и т. п. Их можно разделить на собственно теплообменники, в которых теплообмен — основной технологический процесс, и реакторы, в которых он имеет вспомогательное, хотя и необходимое назначение.

Теплообменники классифицируют по следующим признакам: по технологической схеме — на прямоточные, противоточные и с поперечным током теплоносителей;

по режиму работы — на теплообменники периодического и непрерывного действия;

по способу передачи теплоты — на теплообменники смешения, или контактные, в которых теплоносители перемешиваются (т. е. осуществляется их контакт), и поверхностные, в которых теплоносители разделены твердыми стенками;

по основному назначению — на подогреватели, испарители, холодильники, конденсаторы (конденсоры);

по сочетанию фазовых состояний рабочих сред — на жидкостно-жидкостные, парожидкостные и газожидкостные;

по конструктивным признакам.

В качестве теплоносителя в пищевой промышленности наиболее широко применяют насыщенный или перегретый водяной пар. В поверхностных теплообменниках из него выпадает стекающая по стенкам влага. Высокая теплота фазового перехода воды обуславливает высокую эффективность этого теплоносителя. В сравнении с ним обогрев горячей водой существенно менее эффективен и неизбежно связан с изменением температуры перегретого водяного пара. Для его перегрева необходимо повышение давления. Например, для достижения температуры 115 °С необходимо избыточное давление пара 0,07 МПа (-0,7 кгс ■ см²), а температуры 150... 160 °С — давление 0,5...0,7 МПа.

Минеральное масло, используемое в качестве теплоносителя, позволяет работать при температурах до 200 °С.

Обогрев горячими газами и воздухом в печах и сушильных установках позволяет работать при температурах 300... 1000 °С. Интенсивность теплообмена при этом невелика, а поверхности, соприкасающиеся с топочными газами, сильно загрязняются.

В холодильной технике в качестве теплоносителей используют хладагенты: воздух, рассолы, аммиак, диоксид углерода, фреоны и др.

ТИПИЧНЫЕ СХЕМЫ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Различают следующие группы конструкций теплообменников: элементные, с рубашками, кожухотрубные, погружные трубчатые, оросительные и с плоскими поверхностями нагрева.

Теплообменники с рубашками. Имеют двойные стенки разнообразной конфигурации, через которые происходит теплообмен. Скорость движения теплоносителей в рубашках мала, и потому теплообмен не очень интенсивен. Часто для его интенсификации в теплообменники встраивают мешалки.

На рисунках приведены типичные схемы теплообменников, различающихся способами организации пространственного поля температур.

В аппаратах полного смешения организуется перемешивание теплоносителя в объеме аппарата; это приводит к выравниванию температур в объеме.

В аппаратах полного вытеснения полностью отсутствует перемешивание данного теплоносителя. Новые его порции, поступающие в аппарат, вытесняют старые, не смешиваясь с ними.

В аппаратах, выполненных по промежуточной схеме, имеют место элементы как первой, так и второй вышеназванных схем. Температуры подогреваемого теплоносителя в этой схеме и в схеме полного вытеснения изменяются по длине аппарата экспоненциально, хотя и с разными показателями экспонент.

Кожухотрубные теплообменники. Наиболее распространены в пищевых производствах. Они представляют собой пучок труб, размещенных в кожухе. Трубки закрепляют, например, завальцовывают в межтрубные решетки, отделяющие полость межтрубного

пространства (кожухотрубнuto) от полости, заполненной вторым теплоносителем (трубной).

Схема одноходового кожухотрубного теплообменника показана на рисунке 8, а многоходового — на рисунке 9. На этих рисунках и далее стрелками J_1 и J_2 обозначены потоки жидкостей,

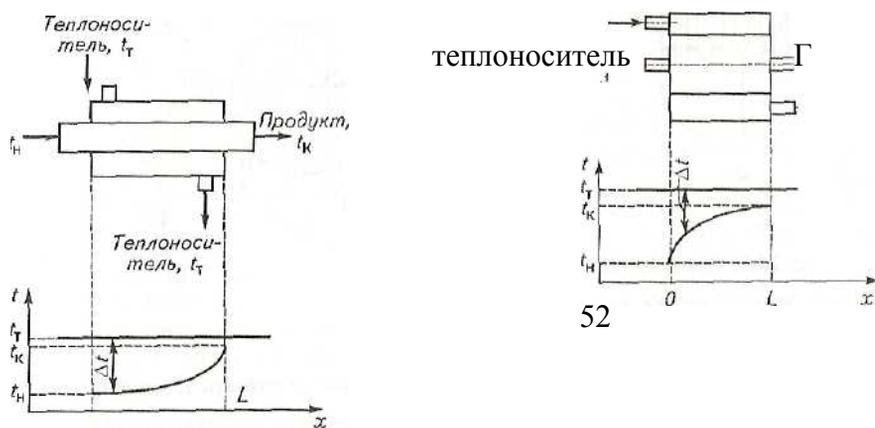


Рис. 25.3. Схема аппарата промежуточного типа и распределение

Рис. 8. Схема аппарата полного вытеснения и распределение температур в нем

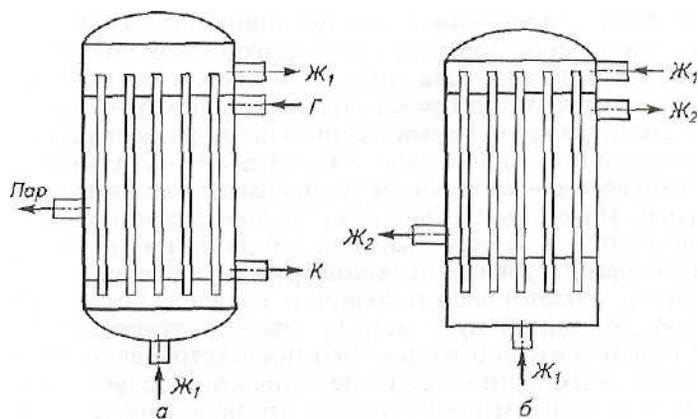


Рис. 9. Схемы одноходовых кожухотрубных теплообменников:

- С подводом пара и с отводом конденсата и неконденсирующихся газов; б — с подводом горячего жидкого теплоносителя

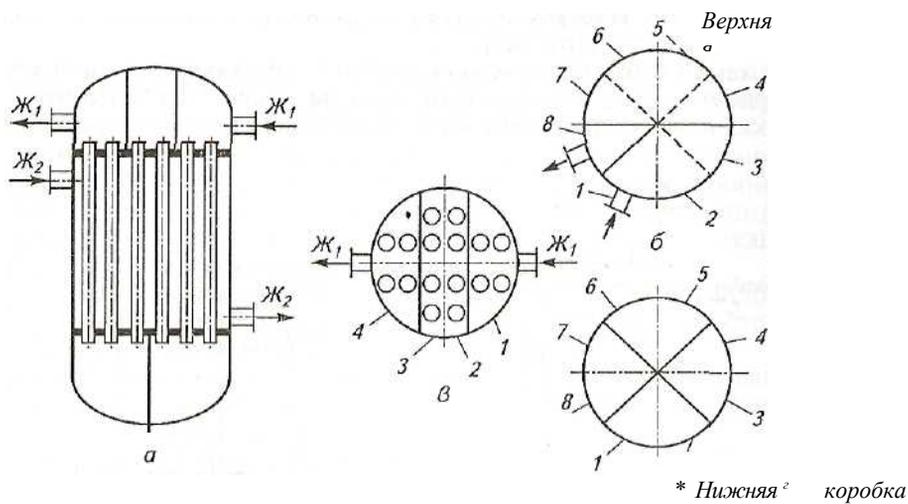


Рис. 25.3. Схема аппарата промежуточного типа и распределение

Рис. 10. Схема многоходового кожухотрубного теплообменника:

я — схема; б — верхняя коробка; в — нижняя коробка; з — расположение ходов. Цифрами обозначены номера полостей перетекания жидкости между ходами: 1~8~~ полости верхней

коробки

движущихся по обеим полостям теплообменника, стрелками K — поток конденсата греющего пара, Γ — поток неконденсирующихся газов, выделяющихся при конденсации.

Цилиндрические трубки имеют относительно неблагоприятное с точки зрения теплообмена отношение площади проходного сечения к площади их поверхности: поверхность относительно мала. В связи с этим для нагрева больших массовых потоков жидкости, текущих по трубам, требуется большая длина труб. Поэтому для сокращения размеров теплообменников их разделяют на секции, соединенные последовательно. Общая длина пути теплоносителя при этом увеличивается. Такие теплообменники называют многоходовыми. Известны разнообразные конструкции многоходовых теплообменников: с перекрывающими движение перегородками; с U-образными трубками на одной трубной решетке, вынимаемой из корпуса; с плавающей головкой — коллектором, заменяющим нижнюю соединительную часть U-образных трубок, и др. Вход и выход теплоносителя в теплообменниках устраивают таким образом, чтобы естественное тепловое конвективное движение совпадало с направлением принудительного движения теплоносителя. Для этого более теплый и охлаждающийся компонент подводят сверху, а холодный подогреваемый — снизу. Это условие невозможно выдержать в многоходовых теплообменниках, установленных вертикально, поэтому их часто устанавливают горизонтально. Одноходовые теплообменники предпочтительно устанавливать вертикально. Однако имеются и другие соображения, которые могут заставить изменить способ их установки: удобство чистки труб, удобство монтажа в конкретном здании и др.

На рисунке 10, а приведен продольный разрез четырехходового теплообменника, на рисунке 10, ж показано устройство перегородок в его верхней и нижней распределительных коробках. Две перегородки в верхней коробке обозначены сплошными линиями, одна перегородка в нижней коробке показана пунктирной линией. На рисунке 10, в, з приведено

устройство перегородок в верхней и нижней распределительных головках восьмифазового кожухотрубного теплообменника.

Элементные теплообменники (составленные из простых однотипных элементов). Их применяют как скоростные, т. е. при больших скоростях течения, а также при высокой стоимости теплоносителя (в холодильной технике). В элементных холодильниках входная и выходная полости отсутствуют и благодаря этому их рабочие полости минимизируются. В результате теплоносителя требуется меньше. В таких теплообменниках можно соблюсти противоточное движение компонентов и выдержать желаемые их скорости.

Погружной трубчатый теплообменник. Имеет вид змеевика, погруженного в сосуд с жидкостью. Более горячее рабочее тело обычно подают в змеевик сверху. Теплообмен может интенсифицироваться мешалками. Витки змеевика скрепляют планками для прочности. Такие теплообменники применяют при большом давлении в трубках, а также в качестве дополнительных подогревателей.

Оросительные теплообменники. Это трубчатые спирали с горизонтальными витками, размещенными в одной вертикальной плоскости. При орошении верхнего витка этой спирали вода стекает на нижерасположенные витки и охлаждает также и их. Применяют оросительные теплообменники в холодильной технике при высоком давлении внутри трубок.

Теплообменники с плоскими поверхностями нагрева. Это ребреные трубчатые теплообменники с ребрами в виде пластин (калориферы) и пластинчатые теплообменники.

Живое сечение межтрубного пространства калориферов составляет около 40%. Их расчет выполняют по справочным данным каталогов калориферов, в которых приводят коэффициент теплопередачи в зависимости от скорости воздуха и температуры теплоносителя, а также гидравлическое сопротивление по воздушному тракту.

Пластинчатые жидкостные и парожидкостные теплообменники собирают из пакетов стальных штампованных пластин (рис. 11). Такие элементы соединяют в батареи



Рис. 11. Разрез каналов пластинчатого подогревателя

Пластинчатые жидкостно-жидкостные теплообменники, работающие при атмосферном давлении, в настоящее время наиболее эффективны. Применяют их в разнообразных теплотехнических устройствах.

Большой вклад в разработку пластинчатых теплообменников внесла шведская фирма «Альфа Лаваль».

Теплообменники этой фирмы представляют собой набор плоских или гофрированных пластин толщиной 0,3...0,4 мм, располагаемых эквидистантно с зазором между ними до 2 мм. По одну сторону каждой такой пластины течет один теплоноситель, а по другую — второй. Системы ходов жидкости на каждой пластине объединяются в два подводящих и два отводящих патрубка — по одной паре для каждого из двух теплоносителей. Пластины собираются в блоки пайкой или стягиваются болтами через уплотнительные прокладки и нажимные пластины (рис. 11).

Наиболее широко пластинчатые теплообменники используют как бойлеры или нагреватели холодной воды в системах горячего водоснабжения. В бойлерах высокотемпературный теплоноситель, например вода из системы отопления температурой 90...95 °С, постоянно протекает через них. При подаче на вход второго контура бойлера холодная вода нагревается практически за доли секунды и поступает в систему горячего водоснабжения.

ВЫПАРИВАНИЕ

Выпаривание — процесс концентрирования (сгущения) растворов, суспензий и эмульсий при кипении. Концентрация растворенных веществ увеличивается из-за превращения в пар растворителя или дисперсионной среды эмульсий и суспензий. Выпаривают водные растворы самых разных веществ (соки), эмульсии (молоко), суспензии (барду) и пр. При выпаривании вода из раствора удаляется в виде пара, а растворенное вещество или дисперсная фаза эмульсий и суспензий остается в неизменном количестве.

Выпаривание ведут в технологических устройствах, называемых выпарными аппаратами.

В качестве греющего агента при выпаривании используют водяной пар, который называют греющим или первичным. Пар, образующийся при выпаривании кипящего раствора, называют вторичным.

Процессы выпаривания проводят под вакуумом, при повышенном и атмосферном давлениях.

По мере сгущения физические свойства раствора изменяются.

При высоких температурах растворенные органические вещества раствора могут разлагаться, ухудшая этим качество конечного продукта, — появляются нежелательный вкус, цвет или запах. Для сохранения качества продукта растворы выпаривают при меньших температурах, для чего приходится снижать давление в выпарных аппаратах.

Выпаривание под вакуумом имеет и другие преимущества. При разрежении увеличивается полезная разность температур между греющим агентом и раствором, что позволяет уменьшить площадь поверхности нагрева аппарата (при прочих равных условиях). В случае одинаковой полезной разности

температур при выпаривании под вакуумом можно использовать греющий агент более низких параметров (температура и давление). Благодаря возможности понижения температуры греющего агента в качестве такового можно использовать вторичный пар этой же выпарной установки, что позволяет снизить расход первичного греющего пара. Наряду с этим стоимость вакуумной выпарной установки повышается, так как при этом требуются дополнительные затраты на устройства для создания вакуума (вакуум-насосы, конденсаторы, сепараторы для отделения капель раствора). При этом увеличиваются также эксплуатационные расходы.

Вторичный пар, отбираемый на сторону, называют экстрапаром. Далее будет показана экономическая целесообразность использования экстрапара.

Выпаривание под избыточным давлением сопряжено с повышением температуры кипения раствора, поэтому данный способ применяют довольно редко и в случаях выпаривания термически стойких веществ.

При выпаривании под атмосферным давлением вторичный пар не используется и удаляется в атмосферу. Такой способ выпаривания является периодическим, самым простым, но одновременно и наименее экономичным.

При периодическом выпаривании раствор поступает в выпарной аппарат и сгущается в нем до заданной концентрации или по мере выпаривания в аппарат вводят свежий раствор до тех пор, пока увариваемая масса не заполнит аппарат. Сгущенный раствор выпускают и процесс повторяют.

Выпаривание проводят как в одиночных выпарных аппаратах (однокорпусные выпарные установки), так и в установках с несколькими выпарными аппаратами (многокорпусные выпарные установки). В многокорпусных установках, которые являются более распространенными, вторичный пар каждого предыдущего корпуса направляется в качестве греющего пара в последующий корпус. Чтобы обеспечить выпаривание, необходимо создать разность между температурой вторичного пара из предыдущего корпуса и температурой кипения раствора в данном корпусе. Эта разность температур, т. е. движущая сила процесса выпаривания, создается снижением давления в последовательно соединенных корпусах. В этих установках первичным паром из котельной или другого парогенератора обогревается только первый корпус. Следовательно, в многокорпусных выпарных установках достигается значительная экономия первичного пара по сравнению с однокорпусными установками той же производительности.

ОДНОКОРПУСНЫЕ ВАКУУМНЫЕ ВЫПАРНЫЕ УСТАНОВКИ

Однокорпусные выпарные установки применяют лишь в производствах малой мощности для сгущения относительно небольших количеств раствора, когда экономия теплоты не имеет большого значения. Схема однокорпусной вакуумной выпарной установки непрерывного действия показана на рисунке 12.

Исходный раствор из сборника 1 подается насосом 2 в подогреватель 3, где он нагревается до температуры кипения. Далее он направляется в

вакуумный выпарной аппарат для сгущения. Греющий пар подается в межтрубное пространство нагревателя и выпарного аппарата. Вторичный пар, образующийся в выпарном аппарате вместе с газами и захваченными капельками раствора направляется в сепаратор 5 и далее в барометрический конденсатор 6. В сепараторе 5 от вторичного пара отделяются капельки раствора, которые возвращаются в выпарной аппарат.

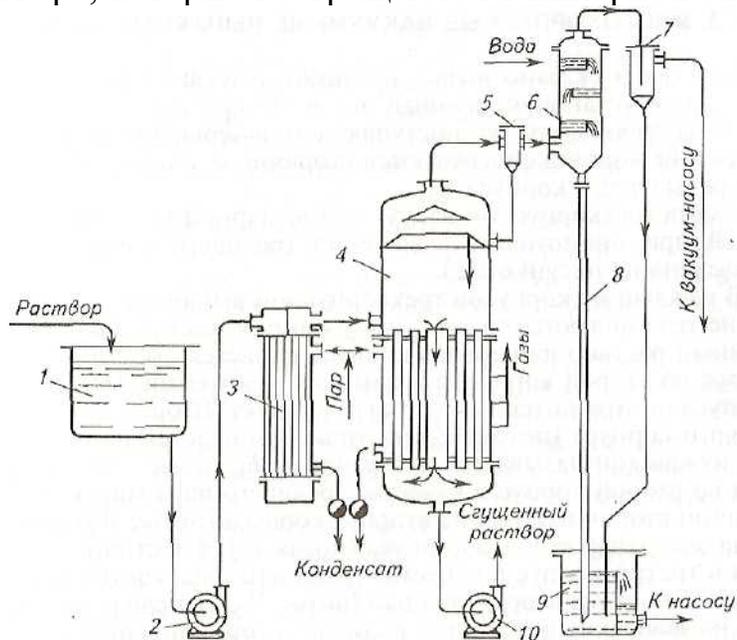


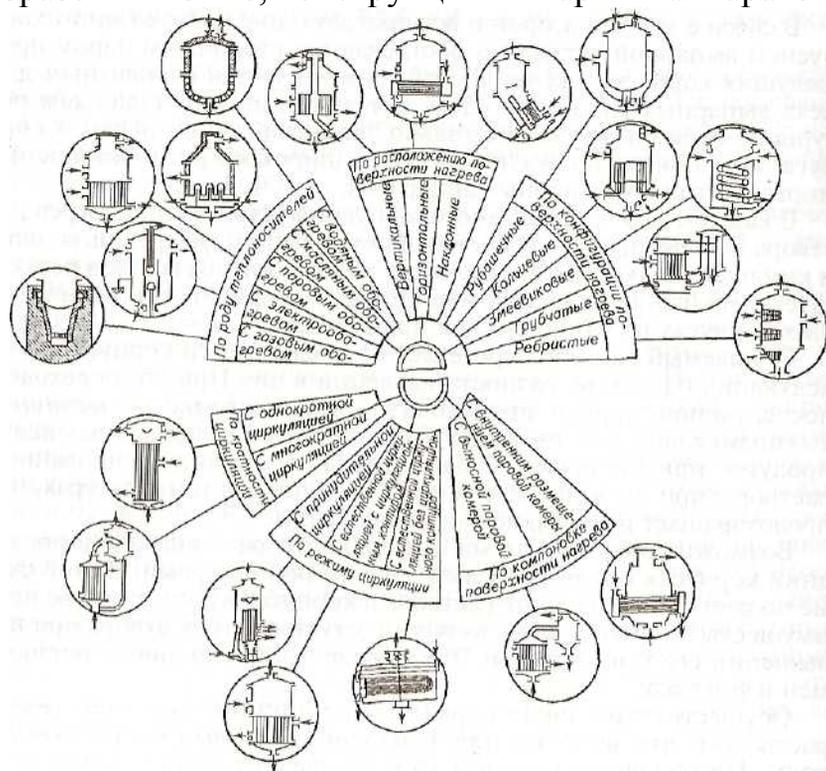
Рис. 11. Схема однокорпусной вакуумной выпарной установки

Действие сепараторов основано на том, что в нем установлены одна или несколько перегородок плоской, цилиндрической или спиральной формы, цель которых — изменить направление движения паровоздушной смеси с капельками жидкости. Пар и воздух проходят этот лабиринт из перегородок, а капли жидкости вследствие инерционных сил оседают на этих перегородках или внутренней поверхности сепаратора и стекают вниз. Таким образом, происходит сепарирование, т. е. отделение жидкости от пара.

В барометрическом конденсаторе пар вынужден проходить сквозь сплошные завесы стекающей с полок жидкости, и конденсируется при этом. Воздух и газы также вместе с захваченными капельками воды откачиваются из верхней части конденсатора. Перед вакуум-насосом для откачивания воздуха и газов установлен сепаратор 7, предназначенный для отделения капель жидкости. Сепаратор 7 иногда называют каплеуловителем, а сепаратор 5 — ловушкой. Конденсат вместе с водой в виде барометрической воды отводится самотеком через барометрическую трубу 8 в сборник 9. Сгущенный до требуемой концентрации раствор откачивается насосом 10 на дальнейшую обработку или упаковку.

Классификация выпарных аппаратов, применяемых в пищевой промышленности, приведена на рисунке.

Далее рассмотрены некоторые наиболее распространенные, главным образом типовые, конструкции выпарных аппаратов.



КОНДЕНСАЦИЯ

Конденсация — переход вещества из газообразного состояния в жидкое или кристаллическое. Применяют конденсацию для создания разрежения в выпарных аппаратах, для использования теплоты конденсации в теплообменниках с даровым обогревом, для разделения систем, состоящих из компонентов с различными температурами сжижения, для создания вакуума путем конденсации паров, для утилизации теплоты испарения и др. Конденсация осуществляется в поверхностных или контактных (смесительных) конденсаторах.

Поверхностные конденсаторы применяют для получения чистых конденсатов без примеси охлаждающего агента (конденсат хладагента, спиртовые пары и др.). Обычно такими конденсаторами являются трубные аппараты: кожухотрубные, элементные, оросительные.

Элементные конденсаторы представляют собой одноходовые кожухотрубные аппараты (элементы), соединенные последовательно в батарее. Их обычно применяют для конденсации аммиака в холодильных установках при высоких давлениях. В таких аппаратах конденсирующийся компонент проходит через кожухи, соединенные между собой последовательно. По трубам, расположенным внутри кожухов (по 5...7 труб в каждом), проходит охлаждающая вода.

В *оросительных конденсаторах* сжижаемый компонент проходит по батарее труб, расположенных одна над другой, орошаемых водой и (или) обдуваемых воздухом. Их устраивают либо на открытом воздухе, либо закрывают кожухом со сборником охлаждающей воды и системой ее оборота в процессе.

В контактных конденсаторах пары конденсируются при смешивании с холодной водой.

СПОСОБЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

В пищевой промышленности холод применяют при хранении сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, а также при проведении ряда технологических процессов.

Для получения низких температур могут быть использованы физические процессы, сопровождающиеся поглощением теплоты извне: таяние водного льда и льдосолевых смесей; сублимация сухого льда (твердого диоксида углерода); кипение различных веществ (хладагентов) при низких температурах; дросселирование; расширение газа с совершением внешней работы; термоэлектрический эффект; испарение жидкости в вакууме; вихревой эффект и др.

Один из наиболее простых способов получения холода — использование водного льда и льдосолевых растворов. На крупных предприятиях применяют холодильные машины, которые по принципу действия делятся на компрессионные, абсорбционные и парожеткорные.

Таяние льда и льдосолевых растворов. В камере охлаждения лед (или водно-солевой раствор) воспринимает теплоту Q_0 от охлаждаемой среды при температуре T_0 (рис.12). Количество теплоты зависит от теплопритоков через изоляцию от внешней среды, температура которой T , причем $T > T_0$.

Скрытая теплота плавления льда равна 335 кДж/кг. Масса плавящегося льда G (кг) и количество поглощаемого при этом холода Q_0 (Дж) связаны соотношением

$$G = Q_0 / \gamma$$

где γ — скрытая теплота плавления, Дж/кг.

При использовании льда в качестве источника холода не удастся получить температуру в камере охлаждения ниже 3...4 °С.

Температура таяния льдосолевой смеси зависит от химической формулы соли и ее концентрации в смеси. На практике применяют смесь дробленого льда с технической поваренной солью. Концентрацию смеси

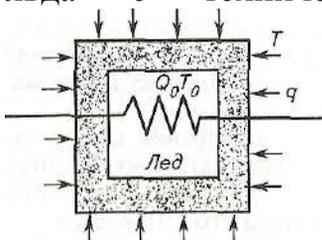


Рис. 12. Принципиальная схема охлаждения водным льдом.

устанавливают в зависимости от требуемой температуры охлаждения. С повышением концентрации температура плавления раствора уменьшается до некоторого предела, а затем снова возрастает (рис. 12).

Наиболее низкая температура плавления ($-21,2^{\circ}\text{C}$) достигается при концентрации 23,1 %. Она называется криогидратной. Для льдосолевой смеси ($\text{CaCl}_2 + \text{лед}$) криогидратная температура равна -55°C .

Сублимация сухого льда. Температура сублимации сухого льда (твердого диоксида углерода) при атмосферном давлении $t_{\text{субл}} = -78,9^{\circ}\text{C}$; удельная теплота сублимации 574 кДж/кг .

Кипение. Это процесс интенсивного парообразования на поверхности нагрева при подводе теплоты. Эффект отвода теплоты от охлаждаемой среды в процессе кипения жидкости используют в паровых компрессионных холодильных машинах. Такую кипящую при низкой температуре жидкость называют хладагентом.

Дросселирование. Дросселирование сжатых газов осуществляют на дроссельных вентилях, редукторах, перегородках и других сужающих устройствах. Этот процесс сопровождается резким падением давления. Понижение температуры газа методом дросселирования связано с повышенными затратами энергии и применяется ограниченно. В частности, его используют для сжижения азота, кислорода и других компонентов воздуха, т.е. для достижения криогенных температур.

Дросселирование — это один из основных процессов, протекающих в паровых компрессионных холодильных машинах. При

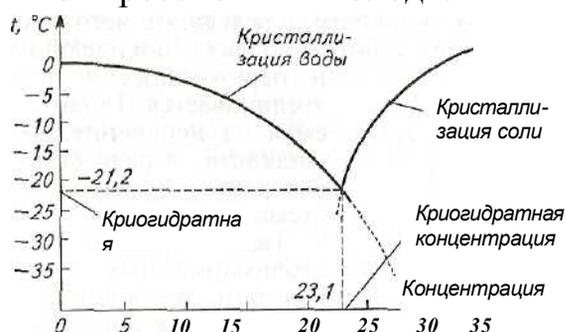


Рис. 13. Диаграмма температур плавления льдосолевой смеси дробленого льда и поваренной соли

прохождении жидкого хладагента через узкое сечение в регулирующем вентиле (капиллярной трубке) под действием разности давлений падение давления сопровождается снижением температуры всего потока.

Расширение газа с совершением внешней работы. Этот процесс применяют в воздушных и газовых холодильных машинах. Воздух (газ)

расширяется в детандере, совершая работу; при этом температура его снижается.

Термоэлектрический эффект. Открыт французским физиком Ж. Пельтье (1785—1845), установившим, что при протекании тока в цепи, состоящей из двух различных проводников (рис. 30.3), один из спаев охлаждается, а другой нагревается. Разность температур спаев увеличивается с ростом напряжения в цепи.

КПД термоэлементов из металлических проводников низок вследствие интенсивного перетекания теплоты от горячего спаев к холодному. Значительно большую эффективность имеют цепи, содержащие полупроводники в сочетании с металлами. При определенном подборе металлов и полупроводников разность температур горячего и холодного спаев может достигать $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вихревой эффект. Вихревой эффект создается с помощью вихревой трубы. Закрученный в трубе поток воздуха делится на теплую и холодную части. Применяют вихревые трубы в основном в лабораторной практике.

Испарение жидкости в вакууме. Процесс происходит самопроизвольно вследствие нарушения фазового равновесия между жидкой и паровой фазами рабочего тела (воды). Установившееся при исходном давлении равновесие между потоками молекул, вылетающих из жидкости и возвращающихся в нее при соударениях со свободной поверхностью жидкости, нарушается при вакуумировании. Откачивание насосом паровой фазы системы газ — жидкость приводит к уменьшению потока молекул, соударяющихся со свободной поверхностью жидкости, в результате чего в соответствии с принципом Ле Шателье поток молекул, покидающих жидкость и переходящих в газовую фазу, увеличивается. Теплота, затрачиваемая на испарение, черпается из жидкости, в результате чего жидкая фаза системы, а с ней и вся система охлаждается.

Такой процесс реализуется в сублимационных сушилках, при быстром охлаждении хлебобулочных изделий после их частичной выпечки с целью последующего хранения и допекания в присутствии покупателя.

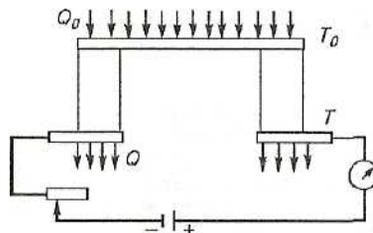


Схема термоэлемента Пельте.

ПРЯМОЙ И ОБРАТНЫЙ ЦИКЛЫ КАРНО. ЭНТРОПИЯ

Круговые процессы, или циклы, совершаемые рабочими телами (веществами) в машинах, разделяются на прямые, в которых теплота превращается в работу, и обратные. По прямым циклам работают тепловые двигатели. Они вырабатывают механическую энергию путем переноса теплоты с более высокого температурного уровня на более низкий. Обратный цикл используется машинами, преобразующими механическую работу в отрицательные тепловые потоки. Так работают холодильные машины и тепловые насосы, переносящие теплоту с более низкого температурного уровня на более высокий.

Циклы Карно (прямой и обратный) изображены на рисунке 30.4 в координатах $p-v$ (давление — удельный объем).

Теплоноситель, подвергаемый преобразованиям в тепловых машинах:

сжатию, расширению, нагреванию, охлаждению, фазовым переходам и др., называют рабочим телом машины.

Прямой цикл Карно. Исходным состоянием рабочего тела двигателя является состояние точки 1. На участке 1—2 цикла рабочее тело сжимается адиабатически, т. е. без потерь теплоты. В точке 2 к нему начинают изотермически подводить теплоту q_1 от высокотемпературного источника, в результате чего рабочее тело расширяется по линии 2—3. На участке 3—4 расширение рабочего тела продолжается уже без подвода теплоты, т. с. адиабатически. На участке 4—1 от рабочего тела с помощью источника низкой температуры отбирается теплота q_2 . В двигателях, работающих по разомкнутому циклу, когда теплоноситель в каждом цикле работы обновляется, процесс охлаждения заменяется процессом обновления теплоносителя.

Разность подведенной и отведенной в цикле теплоты соответствует выработанной в цикле работе $\neq q_1 - q_2$.

Обратный цикл Карно. В обратном цикле Карно те же процессы происходят в обратной последовательности. Исходное состояние рабочего тела теперь — точка 4. Адиабатически сжатое компрессором по линии 4—3 рабочее тело охлаждается изотермически по линии 3—2 и далее продолжает расширяться адиабатически по линии 2—1. На изотерме 1—4 к рабочему телу подводится теплота камеры охлаждения и оно возвращается к исходному состоянию точки 4.

Энтропия. Ряд простых задач теплотехники и холодильной техники решаются с использованием таких параметров, как давление, плотность и температура (для газов) или температура, теплоемкость и масса тела (для твердых и

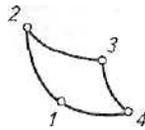


Рис. 14. Изображение циклов Карно в координатах $p-v$.

жидких тел). Однако при переходе к задачам, связанным с переходом теплоты в работу и обратно, оказывается, что этих параметров недостаточно. Теплоносители и окружающая среда оказываются связанными еще одним параметром. Он характеризует возможность использования теплоты теплоносителя. Эта возможность словесно формулируется в виде второго начала термодинамики: самопроизвольно теплота может передаваться только от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой.

Эта формулировка второго начала термодинамики может интерпретироваться следующим образом. Не всякая теплота, аккумулированная рабочим телом с более высокой температурой T , одинаково полезна с точки зрения использования для совершения внешней работы. Если ее количество определяется температурой, теплоемкостью и массой тела, то ее полезность, кроме того, зависит от параметров второго тела, имеющего более низкую температуру T_x . В качестве него зачастую выступает окружающая среда. Из параметров второго тела температура имеет решающее значение для получения полезной работы. Разность температур T и холодильника T_x , отнесенная к температуре T , представляет собой термический КПД тепловой машины

$$T - T_x / T$$

Если эта разность температур ($T - T_x$) велика, то теплоту, запасенную рабочим телом, называют высокопотенциальной, и наоборот, если эта разность мала, то теплоту называют низкопотенциальной. Понятие потенциала источника теплоты дублируется боксе широко используемым понятием «энтропия» s .

Слово «энтропия» происходит от греческого entropia и означает поворот, или превращение. Его ввел немецкий физик Р. Клаузиус (1822—1888), член-корреспондент Петербургской академии наук. Энтропия, так же как и потенциал, не имеет установленного уровня начала отсчета; в расчетах используют только ее приращение

$$s = q / T$$

где $q = c(T - T_x)$ — преобразуемая в рассматриваемом процессе разность энтальпий источника теплоты; c — его удельная теплоемкость.

Единицы измерения энтропии соответствуют единицам измерения теплоемкости.

С понятием энтропии тесно связано понятие *эксергии* как максимальной работы, которая может быть совершена системой при переходе из данного состояния в равновесное с окружающей средой.

Использование энтропии существенно облегчает расчеты и графическое представление процессов. Построение процессов в диаграммах «температура — энтропия $T-s$ » или «энтальпия — энтропия $h-s$ » оказывается относительно простым и потому широко используется.

Значительные затруднения в понимании трактовки понятия «энтропия» возникают из-за отнесения ее только к одному рабочему телу. Необходимо помнить, что такое отнесение возможно только в предположении «по умолчанию», что параметры тела с более низкой температурой во всех оценках с использованием энтропии остаются постоянными.

Если в каком-либо процессе происходят потери энергии системы Dq , их можно определять приращением энтропии $Ds = Dq / T$. Соответственно в теоретических процессах, в которых потерями энергии пренебрегают, энтропия не изменяется: $Ds=0$. Такие процессы называют изоэнтропическими или обратимыми. Все реальные процессы протекают с возрастанием энтропии. В этом смысле они называются необратимыми или протекающими с невосполнимыми потерями.

ПРОЦЕСС РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Охлаждение с использованием холодильной машины. От охлаждаемого воздуха холодильной камеры, имеющего низкую температуру T_0 , теплоноситель (хладагент) отнимает теплоту и передает ее внешней среде, имеющей более высокую температуру T . При этом хладагент, циркулирующий в холодильной машине, совершает обратный круговой процесс, или холодильный цикл. Из энергетического баланса видно, что теплота, передаваемая холодильной машиной внешней среде q , больше теплоты, отбираемой от камеры охлаждения q_0 , на величину механической работы L , затрачиваемой холодильной машиной:

$$q = q_0 + L$$

Эффективность работы холодильной машины оценивается *холодильным коэффициентом*

$$e = q_0 / L$$

где q_0 — количество теплоты, удаляемой от охлаждаемого продукта, или удельная холодопроизводительность, Дж/кг; L —удельная механическая работа, Дж/кг.

Холодильный коэффициент в холодильной технике аналогичен термическому КПД тепловых машин, работающих по прямому циклу Карно.

Литература: 7, с. 346

Тема 6 Массообменные процессы.

Цель: изучить используемые в производстве пищевых продуктов массообменные процессы.

План: классификация массообменных процессов; расчет массообменных аппаратов; сушка, сушильное оборудование; абсорбция; адсорбция; экстрагирование.

ОСНОВЫ МАССООБМЕНА

КЛАССИФИКАЦИЯ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Процессы массообмена, в которых исходный и конечный продукты обмениваются веществом, организуют для получения в концентрированном виде продуктов, содержащихся в сырье в малых концентрациях. Эти процессы ведут в массообменных аппаратах.

Массообменные процессы классифицируют (подразделяют) по трем основным признакам: агрегатному состоянию вещества, способу контакта фаз и характеру их взаимодействия.

Можно представить шесть различных сочетаний из трех возможных фаз по две; газ — жидкость, газ — твердое тело, жидкость—жидкость, жидкость — твердое тело, газ — газ, твердое тело — твердое тело. Два последних сочетания практически не используют в массообменных аппаратах.

Когда два разделяемых компонента содержатся одновременно в газообразной и жидкой фазах, их разделение возможно в процессах перегонки (дистилляции) и ректификации.

Дистилляция (перегонка) — разделение жидких смесей на различающиеся по составу фракции.

Ректификация — способ разделения жидких смесей, состоящих из нескольких компонентов. Ректификация основана на многократном испарении жидкости и конденсации ее паров или на однократном испарении смеси с последующей многоступенчатой конденсацией компонентов. Ректификацию применяют, например, в спиртовой промышленности для получения спирта-ректификата. Так, если раствор этилового спирта в воде

частично испарить, то в паровой фазе концентрация спирта окажется большей, чем в оставшейся жидкости и чем в исходном растворе. Если после этого пар сконденсировать, то в итоге получатся две жидкости с различными концентрациями спирта в них. Повторение этого процесса может обеспечить все более и более высокую концентрацию спирта, т. е. все более высокую степень разделения компонентов.

В том случае, когда компонент растворим в каждой из фаз, которые сами одна в другой нерастворимы, процесс перехода компонента из газообразной фазы в жидкую называют абсорбцией (объемным поглощением), а обратный процесс — десорбцией. Например, если смесь аммиака с воздухом привести в контакт с водой, часть аммиака перейдет в воду (вода абсорбирует аммиак) и воздух частично очистится от него. В обратном процессе при контакте водного раствора аммиака с воздухом в последний перейдет часть аммиака — произойдет процесс десорбции.

Если при переходе одного из компонентов из фазы в фазу в одной из них уменьшается (увеличивается) количество жидкости (растворителя), такой процесс называют сушкой (увлажнением). Например, при контакте молока с горячим воздухом происходит переход воды в воздух. При этом молоко осушается, а воздух увлажняется.

Переход из твердого состояния в газообразное, минуя жидкую фазу, называют сублимацией. В том частном случае, когда и газ и твердое тело являются лишь носителями жидкости, находящейся в порах и на поверхности твердого тела, ее переход в пар при подводе теплоты называют сушкой или сублимационной сушкой. В частности, в овощах при этом происходит перенос влаги в жидком или парообразном состоянии к поверхности, а затем ее удаление с поверхности, т. е. типичный процесс сушки. Обратный процесс — переход компонентов смеси из газообразной фазы в твердую называют процессом адсорбции (поверхностного поглощения) или процессом ионного обмена (см. главу 38). Примером адсорбции может служить проникновение частичек водяного пара из его смеси с воздухом в гранулы силикагеля и их удержание в его порах; при этом воздух осушается.

Если газовая фаза представляет собой смесь нескольких компонентов, которые в различной степени адсорбируются адсорбентом, возможно разделение смеси способом фракционной адсорбции.

При разделении в системе жидкость—жидкость в контакт вводятся две нерастворимые друг в друге жидкости, каждая из которых растворяет выделяемый компонент в различной степени. Пример: разделение этилового спирта и изобутанола при контакте их смеси с водой. При этом изобутанол активно переходит в воду. Если после этого водный раствор изобутанола отделить от его смеси с этиловым спиртом, в которой количество изобутанола существенно уменьшено (а они хорошо разделяются отстаиванием), то процесс можно повторить при новом контакте отделившейся смеси изобутанола и спирта со свежей водой и получить из нее изобутанол более высокой концентрации. Такой процесс называют жидкостной экстракцией.

Особо чистые вещества получают в процессах *фракционной кристаллизации*. Кристаллы, выпавшие из раствора и имеющие меньшее количество загрязняющих компонентов, чем исходный раствор, растворяются в чистом растворителе и из раствора вновь кристаллизуются. При этом часть загрязняющих веществ вновь отделяется.

Если обе фазы в системе жидкость — твердое тело представляют собой нейтральные вещества, а выделяемый компонент переходит из твердого тела в жидкость, процесс разделения называют *экстрагированием* в системе твердое тело — жидкость. Пример этого процесса — переход сока из свеклы в воду (в диффузионный сок).

Обратный процесс переноса вещества из жидкой фазы на поверхность твердой имеет место в процессах *адсорбции* и *ионного обмена*, а в объеме — в процессах *обратной экстракции*. Пример адсорбции — очистка воды от примесей при пропускании ее через насадку активированного угля, адсорбирующего эти примеси. Примером обратной экстракции может быть посол мяса или рыбы.

По способу контакта фаз массообменные процессы разделяют на процессы с непосредственным контактом фаз, контактом через мембраны и без видимой (четкой) границы фаз. Если между фазами устанавливают мембраны, то процесс разделения относится к области мембранных технологий (рассмотрен в главе 21).

По характеру взаимодействия фаз массообменные процессы и аппараты разделяют на периодические и непрерывные. Кроме того, в непрерывных процессах возможна организация прямоточного, противоточного, перекрестного и комбинированного движения компонентов. В зависимости от конкретной организации процесса возможно разнообразное изменение концентраций участвующих в процессе веществ по длине аппарата и ПО времени. Их разнообразие увеличивается путем комбинирования процессов.

РАСЧЕТЫ МАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Инженерные расчеты массообменных аппаратов используют феноменологические зависимости. В них широко применяются эмпирические коэффициенты связи между движущей силой процесса и реакциями на нее без глубокого проникновения в физическую или химическую сущность явлений. Движущая сила процессов массообмена — разность концентраций.

Инженерный расчет заключается в составлении уравнений материального и энергетического балансов компонентов, а также в наполнении на их основе расчетов массообменных аппаратов при известных удельных характеристиках их главных элементов.

Концентрация раствора (смеси). Относительное количество данного компонента в растворе (смеси) называют его концентрацией. Растворы с большой концентрацией растворенного вещества называют концентрированными, а с малой — разбавленными.

Наиболее употребительны следующие способы выражения концентраций:

массовой — число единиц массы растворенного вещества в 100 единицах массы раствора. Например, 15%-й раствор хлорида натрия — раствор, в 100 г которого содержится 15 г хлорида натрия и 85 г воды;

объемной мольной — число молей растворенного вещества в единице объема (1 дм³) раствора;

массовой мольной — число молей растворенного вещества в 1000 г растворителя;

относительной мольной (мольная доля) — отношение числа молей

рассматриваемого вещества к общему числу молей всех веществ в растворе.

Массообменный процесс прекратится, как только будет достигнута равновесная концентрация в системе.

Равновесие фаз. Основное условие равновесия процессов в мас-сообменном аппарате — равновесие фаз. При отклонении состояния веществ от равновесия, например в результате изменения термодинамических параметров, реализуется переходный процесс восстановления равновесия (принцип Ле Шателье).

Состояние равновесия подчиняется правилу фаз Гиббса, рассмотренному во введении, в соответствии с которым число степеней свободы S равновесной термодинамической системы, на которую из внешних факторов действуют только температура и давление, равно числу компонентов K минус число фаз Φ плюс два:

$$S = K - \Phi + 2.$$

Число степеней свободы, как известно, — это число независимых переменных (температура, давление, концентрация), при любых значениях которых возможно термодинамическое равновесие. Например, в системе, состоящей только из паров воды (число компонентов $K=1$, число фаз $\Phi=1$) имеем $S=1-1+2=2$. Два параметра этой системы, например температура и давление, могут изменяться в широких пределах без нарушения равновесия, т.е. без образования новой фазы. Если в этой же системе появится новая фаза — жидкость, то число фаз станет равным $\Phi=2$ и тогда $S=1-2+2=1$. В этой системе в состоянии равновесия независимо может изменяться только один параметр, например температура. Давление при этом установится на таком уровне, который соответствует заданной температуре. Это произойдет либо вследствие дополнительного испарения пара из жидкости, либо в результате конденсации части паров. Такую систему называют влажным насыщенным паром. Если в этой же системе появится третья фаза — твердое тело (лед), то $\Phi=3$, $S=0$. В этом случае система лишается всякой свободы, т.е. она может быть реализована только при одном строго фиксированном значении давления и температуры — при критических параметрах, соответствующих тройной точке на диаграмме состояния водяных паров.

Коэффициент массоотдачи. Движущей силой в процессе массопередачи служит разность концентраций в ядре потока и на границе раздела фаз C , а

реакцией системы — поток массы переносимого вещества. Их связь в феноменологической зависимости представляется в виде

$$M = aC, \text{ где } a \text{ — постоянная.}$$

При расчете аппаратов из постоянной a выделяют сомножитель, характеризующий непосредственно аппарат. Это площадь поверхности массообмена F . Тогда будем иметь

$$M = bCF; \quad bF = a$$

Постоянную b называют коэффициентом массоотдачи.

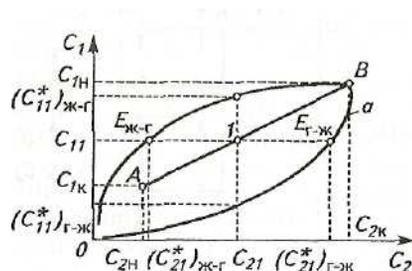


Рис. 14. Рабочая и равновесные линии процессов в массообменных аппаратах .

СУШКА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

СВОЙСТВА ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Влажным воздухом называют смесь сухого воздуха с водяным паром, каплями влаги и кристаллами льда. Он может быть ненасыщенным, насыщенным и пересыщенным в зависимости от того, в какой области относительно границы насыщения находятся его параметры.

Влагосодержание воздуха характеризуется массой влаги в 1 кг сухого воздуха и выражается через x (кг/кг) или d (г/кг). Соотношение между x и d следующее:

$$x = d \cdot 10^{-3}.$$

В соответствии с законом Дальтона общее давление воздуха p равно сумме давлений сухого воздуха p_v и водяного пара p_n :

$$p = p_v + p_n$$

В состоянии насыщения, характеризуемом предельно возможным содержанием паров в воздухе, справедливо равенство $p_n = p_{n_s}$, где p_n — парциальное давление пара, соответствующее состоянию насыщения. Отношение $p_n/p_{n_s} = \Phi$ называется *относительной влажностью*. Парциальное давление паров в состоянии насыщения p_{n_s} , увеличивается с ростом температуры.

В системе воздух — вода вещества могут находиться в двух фазах (газообразной и жидкой), число компонентов в ней также равно двум (воздух и вода), следовательно, число ее степеней свободы (по правилу фаз Гиббса) равно 2. Это значит, что независимо в ней могут изменяться только два параметра. Ими обычно являются температура t и относительная влажность Φ воздуха. Все остальные параметры системы зависимы: удельная теплоемкость c , удельная энтальпия i , влагосодержание d , парциальное давление пара p_n и др. Для определения удельной теплоемкости влажного воздуха [кДж/(кг · К)] используется зависимость

$$c = c_{св} + x c_n$$

где $c_{св}$ — удельная теплоемкость сухого воздуха, кДж/(кг · К); $c_{св} = 1,00$ кДж/(кг · К); c_n — удельная теплоемкость водяного пара, кДж/(кг · К); $c_n = 1,93$ кДж/(кг · К).

ФОРМЫ СВЯЗИ ВЛАГИ С МАТЕРИАЛОМ

Влага может быть связана с материалом следующими способами: химически (ионная, молекулярная связь); физико-химически (адсорбцией, осмотически, структурно); механически (находиться в капиллярах или на смоченной поверхности).

Химически связанная влага, связанная с материалом химическими связями, может быть удалена прокаливанием или химическими методами. Сушка для ее удаления не пригодна. В других случаях связи влага может быть удалена сушкой.

Адсорбционно связанная влага удерживается на развитой поверхности коллоидных структур молекулярного силового поля. Она называется связанной водой и не участвует в растворении кристаллических веществ. Адсорбция сопровождается выделением теплоты гидратации.

Осмотически удерживаемая влага задерживается в полостях высокомолекулярных частиц гелей. Высокомолекулярная оболочка частиц обладает свойствами полупроницаемых перегородок, удерживающих внутриклеточную влагу.

Если влага попадает внутрь структуры геля при его образовании, она называется структурной. К ней относится влага растительных тканей. Влага, содержащаяся в капиллярах пористых тел, называется механически удерживаемой, а на поверхности тел — влагой смачивания.

ПОКАЗАТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛА. РАВНОВЕСНАЯ ВЛАЖНОСТЬ

Содержание влаги в материале называют влажностью и оценивают в процентах (долях единицы) от массы влажного (W) или сухого (E) материала:

$$W = m_{вл} / m; E = m_{вл} / m - m_{вл}$$

где $m_{вл}$ — масса влаги, кг; m — масса влажного материала, кг.

Если над влажным материалом находится влажный воздух, то со временем между ними установится равновесие и переход влаги между фазами прекратится. Влажность материала в этом состоянии (W_v) называют равновесной. Она является функцией парциального давления водяного пара в окружающей среде и заданной температуры. Ряд значений равновесной влажности при различных парциальных давлениях пара в воздухе или относительной его влажности называют *изотермой сорбции влаги*. Для большинства материалов равновесная влажность не зависит от температуры. Значения равновесной влажности W_p ряда пищевых материалов приведены в таблице.

Равновесная влажность материала, %

Материал	Относительная влажность воздуха, %								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Влага	2,2	3,90	5,0	6,90	8,50	10,1	12,6	15,80	19,00
Хлеб белый	1,0	2,00	3,1	4,60	6,50	8,50	11,4	13,90	18,90
Макаронны	5,0	7,10	8,7	10,6	12,2	13,7	16,6	18,85	22,40
Пшеница	2,1	2,80	3,3	3,50	5,00	6,50	8,30	10,90	14,90
Срахмал	2,2	3,80	5,2	6,40	7,40	8,30	9,20	10,60	12,70
/Кслагин	—	1,60	2,8	3,80	4,90	6,10	7,60	9,30	11,40
/I блоки	—	—	5,0	—	11,0	18,0	25,0	40,00	60,00
Пшеница	—	—	9,3	—	—	13,0	—	—	24,00
Пшеница	6,0	8,40	9,5	12,0	12,5	14,0	16,0	19,50	26,00
Овес	4,6	7,00	8,6	10,0	11,6	13,6	15,0	18,00	22,50
Ячмень	6,0	8,50	9,6	10,6	12,0	14,0	16,0	20,00	29,00

ПРОЦЕСС СУШКИ

Сушка — процесс (или способ) разделения однородных или неоднородных систем, заключающийся в удалении влаги с использованием тепловых и диффузионных явлений. Влага из материала передается сушильному агенту и вместе с ним удаляется из рабочей зоны сушилки. Этим сушка отличается от других способов удаления влаги — механического (отжим в прессах или центрифугах) и физико-химического, основанного на применении водоотнимающих средств.

Сушке могут подвергаться твердые материалы кристаллические (сахар, соль и др.); коллоидно-дисперсные (эластичные и хрупкие гели и капиллярно-

пористые тела), а также жидкости: растворы кристаллоидов и коллоидные растворы. К эластичным гелям относятся желатин, агар-агар, прессованное мучное тесто. Эти тела в высушенном состоянии сжимаются, сохраняя эластичность. К хрупким гелям относят древесный уголь, керамические материалы. Эти тела становятся хрупкими после высушивания. К капиллярно-пористым телам относят торф, древесину, кожу, зерно, хлеб и др. Стенки их капилляров эластичны. После высушивания они дают усадку и становятся хрупкими.

При **феноменологическом** описании сушки в качестве движущей силы принимают разность концентраций влаги в фактическом и равновесном состояниях системы. Фактическая ее концентрация изменяется в процессе сушки, а равновесная определяется как видом продукта, так и влажностью окружающей среды.

Процесс сушки включает нагревание сушильного агента и приведение его в соприкосновение с высушиваемым материалом в сушильной камере.

При конвективной сушке влага перемещается от центра материала к поверхности, с которой она удаляется сушильным агентом. Это диффузионный процесс; его движущей силой служит градиент концентраций влаги dc/dx . Поэтому можно записать следующее феноменологическое выражение для влагопереноса (кг/с) под действием градиента концентраций влаги:

$$m_w = -K_1 F dc/dx$$

где K_1 — постоянная; F — площадь омываемой поверхности материала, м².

Влага, находящаяся в порах материала, и осмотически удерживаемая влага мигрируют к поверхности в жидком виде, а адсорбционно связанная — в виде пара.

Диффузия влаги в материале осложняется тем, что под влиянием теплоты влага перемещается в направлении теплового потока. В сумме этот осложненный процесс называют *термовлагопроводностью*. Перемещение влаги под действием температурного градиента называют *термодиффузией*. Она вызывается уменьшением поверхностного натяжения с повышением температуры и влиянием «защемленного» воздуха, т. е. воздушных пузырьков в жидкости пор.

Общий массовый влагоперенос (кг/с), обусловленный данными причинами, может быть выражен через температурный градиент dt/dx зависимостью

$$m_t = -K_2 F dt/dx$$

где K_2 — постоянная.

Суммарное количество влаги (кг/с), движущейся в высушиваемом геле под действием обеих причин, равно сумме (со своими знаками):

$$m = m_w + m_t.$$

Процесс сушки включает два этапа:
перемещение влаги из глубины тела к поверхности;
перемещение пара в окружающем воздухе.

Первый из этих этапов уже рассмотрен нами. Испарение влаги можно как внутри тела, так и на его поверхности. В обоих случаях дальнейшее движение испаренной влаги происходит от поверхности.

На поверхности материала образуется воздушно-паровой слой, который находится в равновесии с влагой материала; пар является насыщенным при температуре материала.

Движущая сила диффузии влаги с поверхности материала в окружающую среду — разность парциальных давлений p водяного пара в пограничном слое p_n и в окружающей среде p_v

Парциальное давление пара в пограничном слое материала называют давлением насыщенного пара.

Феноменологическая зависимость массового расхода диффундирующего пара (кг/с) от этих параметров

$$m = V_1(p_n - p_v)F,$$

где V_1 — постоянная.

Последнее выражение называется законом Дальтона для испарения с влажной поверхности.

Этот расход влаги должен быть равен потоку влаги, подведенному изнутри к поверхности. Изменение влажности материала во времени называют *кривыми сушки*.

В начале сушки материал прогревается и скорость удаления влаги возрастает от нуля до некоторой постоянной величины.

В период постоянной скорости сушки удаляется влага, механически связанная с материалом (поверхностная и капиллярная).

В период падающей скорости сушки скорость удаления влаги из материала уменьшается. В этот период удаляется влага, более тесно связанная с материалом, в частности адсорбционно связанная.

СУШИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

СПОСОБЫ СУШКИ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ В СУШИЛКАХ

Общие сведения. Способы сушки различаются организацией процесса отъема влаги от материала и характеризуются использованием одного или нескольких процессов, определяющих всю специфику сушки. Наиболее распространены следующие способы сушки: естественная; конвективная (при вынужденном движении воздуха относительно высушиваемого материала); распылительная; кондуктивная (сушка мелких капель

распиливаемого продукта в высокотемпературной газовой среде); вальцовая (сушка высоковязких продуктов на металлических поверхностях); вакуумная или сублимационная; взрывоопасная; в кипящем слое сыпучего продукта; аэрофонтанная (пневматическая); терморadiационная с нагревом продукта инфракрасными лучами; с нагревом в поле токов высокой частоты; с получением вспененного продукта и др.

Естественная сушка. Такую сушку применяют в благоприятных климатических условиях. Высушиваемые продукты раскладывают на специальных щитах или сетках на открытом воздухе.

Конвективная сушка. Здесь используется вынужденное движение подогретого воздуха относительно слоя высушиваемого продукта. Скорость вынужденной конвекции 1...5 м/с.

В начальный период конвективной сушки, когда на поверхности высушиваемого материала имеется свободная влага, температура материала слабо зависит от температуры окружающей среды. Она близка к температуре мокрого термометра в соответствующих условиях. Поэтому в начальный период сушки температура в сушилках может быть повышена, так как это ускоряет сушку. Обычно температуру в начале сушки повышают до 90...120 °С; в распылительных сушилках — до 140...200 °С.

В последующие периоды сушки температура должна уменьшаться до значений, при которых не произойдет подгорания или другого ухудшения качества продукта. Обычно эта температура составляет 60...45 °С в зависимости от высушиваемого материала. Его обработка перед сушкой щелочным сульфитным раствором позволяет повысить эту температуру на 5...10°С. Сульфитирование продукта снижает вероятность его побурения при сушке. Так же действует обработка аскорбиновой или лимонной кислотой и бланширование исходных продуктов. Однако на несколько секунд (иногда десятков секунд) и в этот период возможно повышение температуры до 100...130 °С без каких-либо неблагоприятных последствий.

Для предотвращения подгорания материала сушку зачастую проводят в два этапа: основной период сушки и досушка. В основной период сушки влажность материала уменьшается до 10...15 %, а в период досушки — до 3...8 %. При досушке также выравнивается влажность во всем объеме высушиваемого материала. Температура воздуха в установках досушки не превышает 40...60 °С при скорости движения воздуха до 1 м/с. Продолжительность досушки обычно значительно больше, чем основной сушки.

Влага, испаряющаяся из высушиваемых материалов, выносит с собой высоколетучие вещества. Вследствие этого продукты теряют вкус и аромат и потеря может оказаться весьма заметной. Такие вещества целесообразно улавливать и возвращать в высушенный продукт.

Кондуктивная сушка. Теплота передается продукту при непосредственном соприкосновении материала с продуктом.

Распылительная сушка. Мелкие капли распыленных жидких продуктов быстро испаряются в высокотемпературной среде. Большая площадь

поверхности распыленного продукта обеспечивает интенсивную теплоотдачу к нему и, как следствие, малую продолжительность сушки (1...10 с). В распылительных сушилках преобладает один из двух видов теплопередачи — конвекция или радиация, хотя в общем случае они оба имеют место.

Распылительную сушку применяют для выработки порошковых продуктов из молока, яиц, соков, гидролизованного крахмала, свекловичного сока, морской воды и др. Для получения таких продуктов, как поваренная или морская соль, когда не требуется сохранять их аромат при сушке, могут быть созданы простые, но эффективные сушилки (при производстве, например, сухого молока, чтобы во время сушки продукт не подгорел).

Вальцовая сушка. Тонкий слой высушиваемого продукта как бы «намазывается» на поверхность цилиндрических подогретых вальцов. Этот слой высыхает за 40...60 с, после чего его тонкие сухие хлопья соскабливаются ножом.

Сушка с получением вспененных продуктов. Овощные и фруктовые вспененные материалы высушиваются на перфорированных металлических листах в конвективном потоке воздуха. Для вспенивания к продукту добавляют вспенивающие присадки в миксере в атмосфере инертного газа.

Вакуумная сушка. Осуществляется при пониженном давлении, что позволяет существенно снизить температуру высушиваемого материала.

Сублимационная сушка. При сушке сублимацией обеспечивается высокое качество получаемого продукта, так как при низкой температуре не разрушаются витамины и красители. Высушенный материал сохраняет свою первоначальную форму, а также (часто) — многие присущие свежему продукту ароматы.

Сублимация — переход воды из твердого состояния в парообразное, минуя жидкое. Это возможно, в частности, при пониженном давлении в сушилке. Остаточное давление в ней должно быть ниже давления насыщенных паров при температуре сушки. В этом случае температура кипения воды оказывается ниже температуры твердого высушиваемого продукта. Молекулы воды, естественным образом отрывающиеся от твердого продукта (льда), сразу же оказываются в парообразном состоянии.

Если высушиваемый продукт расположить на подогреваемом поддоне сушилки, то появляющаяся при переходе льда в жидкость вода будет немедленно вскипать и удаляться в виде пара. Этот процесс также называют сублимацией.

Эксплозионная, или взрывная, сушка. При этом виде сушки используется явление **теплового шока**. Оно заключается во вскипании воды во всем ее объеме в результате резкого понижения давления в окружающей среде. При этом вода, содержащаяся в высушиваемом материале и подогретая до температуры, близкой к температуре кипения, при понижении внешнего давления оказывается перегретой и вскипает. В результате внутренняя структура материала разрушается и становится как бы вспененной (воздушной). Такой материал легко высушивается. Эксплозия возможна как при переходе от повышенного давления к атмос

ферному (при этом начальная температура материала превышает 100 °С), так и при переходе от атмосферного давления к вакууму. Во втором случае процесс происходит при более низких температурах.

Сушка в кипящем слое и аэрофонтанная (пневматическая). Оба вида сушки осуществляются при продувании воздуха сквозь слой сыпучего материала снизу вверх. В обоих случаях явление принципиально одно и то же, но при пневматической сушке скорость воздуха выше и расстояния между частицами высушиваемого материала больше. Кипящий (псевдооживленный) слой реализуется при скоростях воздушного потока 1...5 м/с; для аэрофонтанной сушки его скорость увеличивается до 12... 14 м/с.

Инфракрасная сушка и сушка в поле токов высокой частоты. От остальных видов эта сушка отличается только соответствующим способом подвода теплоты. Организация сушильного процесса может быть любой (из описанных выше способов). При таком нагревании процессы диффузии и термодиффузии влаги в процессе сушки материалов направлены в одну сторону, что в десятки, раз ускоряет сушку. В сушилках инфракрасного нагрева сушат обычно гонкие изделия (печенье, слои краски на поверхностях), в которые излучение проникает почти до середины их толщины.

Сорбция

КЛАССИФИКАЦИЯ СОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Сорбцией (от лат. *sorbeo* — поглощаю) называют любой процесс поглощения одного вещества (сорбтива) другим (сорбентом). В зависимости от механизма поглощения различают адсорбцию, абсорбцию, хемосорбцию и капиллярную конденсацию. Сорбционные процессы используют для разделения однородных и неоднородных систем с использованием явления сорбции.

Абсорбция — поглощение одного вещества другим во всем объеме сорбента. Примером абсорбции является растворение газов в жидкостях. Поглощаемое вещество в этом процессе называют аб-сорбатом, а поглощающее — абсорбентом.

Адсорбция — изменение концентрации вещества на границе раздела фаз. Она происходит на любых межфазовых поверхностях, и адсорбироваться могут любые вещества. Адсорбционное равновесие, т. е. равновесное распределение вещества между пограничным слоем и граничащими фазами, является динамическим и устанавливается быстро. Поглощаемое вещество в этом процессе называют адсорбатом, а поглощающее — адсорбентом.

Хемосорбция — поглощение вещества, сопровождающееся химическими реакциями.

Капиллярная конденсация — оживание паров в микропористых сорбентах. Она вызывается тем, что давление паров над вогнутым мениском жидкости в смачиваемых ею узких капиллярах меньше, чем давление насыщенного пара над плоской поверхностью жидкости при той же температуре. Это связано с

тем, что над вогнутым мениском на каждую молекулу газа приходится относительно большая площадь поверхности жидкости, чем над плоской поверхностью. В результате вероятность перехода молекулы газа в жидкость увеличивается, и объем газа становится меньше. Вследствие этого температура конденсации газа над вогнутым мениском оказывается выше, чем в окружающей среде. Поэтому если температура в газовой среде поддерживается близкой к температуре конденсации, но несколько выше ее, то во внесенных в нее микропористых сорбентах из лиофильного материала возможно начало конденсации газов. Такой процесс можно интерпретировать как адсорбцию газов лиофильными микропористыми сорбентами при поддержании соответствующих температурных режимов.

Любой сорбционный процесс начинается на границе соприкасающихся фаз, т.е. с адсорбции. Граница может быть границей жидких, газообразных или твердых фаз.

Десорбция — выделение сорбата из сорбента.

Сорбционным процессам свойственна избирательность (селективность) поглощения. Это важное свойство создает значительные возможности для разделения веществ путем подбора сорбентов. При протекании сорбционных процессов выделяется (иногда поглощается) теплота, а в замкнутых системах изменяется давление. И связи с этим процессы сорбции, как правило, ускоряются с понижением температуры и повышением давления.

АБСОРБЦИЯ

Абсорбция осуществляется в массообменных аппаратах, в которых абсорбент и абсорбат приводят в тесный контакт. Схема абсорбера представлена на рисунке 38.1. На вход аппарата снизу подается инертный непоглощаемый газ, содержащий некоторое количество поглощаемого компонента (расход V , кмоль/с, концентрация y_n , кмоль/кмоль инертного газа), на вход сверху — жидкий сорбент (расход W , кмоль/с), содержащий некоторое количество поглощаемого компонента (x_n , кмоль/кмоль) чистого абсорбента. Таким образом обеспечивается противоточное движение фаз. На выходах из аппарата соответствующие величины обозначены индексом «к».

Уравнение материального баланса по абсорбату без учета потерь имеет вид

$$V(y_n - y_k) = W(x_k - x_n) = M,$$

где M — количество компонента, передаваемого из одной фазы в другую, кмоль/с.

Удельный расход сорбента

$$m = W/V = (y_n - y_k) / (x_k - x_n).$$

КЛАССИФИКАЦИЯ АБСОРБЕРОВ

Абсорберы пищевой промышленности классифицируют по конструктивным признакам.

Наибольшее распространение в пищевой промышленности получили насадочные и тарелочные абсорберы.

Насадочный абсорбер (скруббер). Представляет собой цилиндрическую башню, заполненную насадкой.

Наиболее распространены кольцевая и хордовая насадки. Кольца насадки называют также кольцами Рашига. Хордовые насадки изготавливают из деревянных досок, собираемых в специальные конструкции, обеспечивающие большую площадь контакта и малое гидравлическое сопротивление.

Тарелочные абсорберы. Представляют собой вертикальные колонны, разделенные по высоте рядом тарелок, на которых создается определенный по высоте уровень абсорбента, перетекающего вниз с тарелки на тарелку. Через колпачки решетки или сита сквозь слой абсорбента барботируется газ, содержащий выделяемый продукт. Каждая такая тарелка является ступенью абсорбции. Нами рассматривался способ определения необходимого числа ступеней контакта при заданных рабочей линии и линии фазового равновесия.

АДСОРБЦИЯ

Адсорбция — процесс избирательного поглощения одного или нескольких компонентов из газовой, парогазовой или жидкой смеси и концентрирования их на поверхности твердого пористого тела. Это тело называется адсорбентом, поглощаемое вещество — адсорбтивом, оно же в концентрированном виде на поверхности адсорбента — адсорбатом.

Адсорбенты. Это, как правило, прочные пористые гранулы веществ, способных образовывать электрические (вандерваальсовы) связи между своими поверхностными молекулами и молекулами адсорбтива. При повышении температуры или понижении давления эти связи разрываются из-за температурных флуктуации (колебаний молекул) и происходит процесс десорбции адсорбтива. Десорбция возможна и при понижении концентрации адсорбтива в окружающей среде.

Микропоры адсорбента имеют размеры (5...15) ■ 10⁻¹¹ м, что сравнимо с размерами адсорбируемых молекул. Их суммарный удельный объем составляет около 0,5 см³/г, а удельная площадь поверхности 200...1700 м²/г. Кроме микропор адсорбенты часто имеют крупные поры размером до 0,2 мкм и более.

Основные адсорбенты, используемые в пищевой промышленности: активированные угли, силикагели, алюмогели, цеолиты и некоторые сорта глин.

Активированные угли получают из органического сырья: каменного угля, древесных опилок, дерева, отходов кожевенного, бумажного и мясного производства и др. В процессе их производства используют сухую перегонку

сырья и последующую активацию паром или химическими реагентами для получения тонкой структуры материала. Удельная площадь поверхности углей равна $600...1700\text{ м}^2/\text{г}$, объем микропор $0,3...0,6\text{ см}^3/\text{г}$,

насыпная плотность $380...600\text{ кг}/\text{м}^3$. Используют активированные угли в виде гранул размером $1...7\text{ мм}$ или порошков с частицами размером до $0,15\text{ мм}$. Структура активированных углей равномерна, их регенерируют и используют многократно. Их недостатки — горючесть при температуре более $300\text{ }^\circ\text{C}$ и высокая стоимость.

В кустарных производствах в качестве угольного сорбента используют измельченный древесный уголь — перешедшие в последнюю стадию горения древесные материалы, в которых вся видимая структура исходного древесного сырья претерпела термическое изменение. При этом внутренняя часть небольших по размерам головней (размеры $1...5\text{ см}$) подвергается термическому воздействию (сухой возгонке) без доступа кислорода, поглощаемого горящими наружными их частями. Активацию сорбента в кустарных производствах не проводят. Потеря их качества компенсируется повышенным расходом.

Силикагели получают термической и химической обработкой диоксида кремния. Их удельная площадь поверхности $300...750\text{ м}^2/\text{г}$, удельный суммарный объем пор $0,28...0,9\text{ см}^3/\text{г}$, насыпная плотность $500...800\text{ кг}/\text{м}^3$, температура регенерации $100...200\text{ }^\circ\text{C}$.

Алюмогели — адсорбенты, получаемые из гидроксида алюминия. Их удельная площадь поверхности поглощения $180...200\text{ м}^2/\text{г}$, остальные параметры — как у силикагелей.

Цеолиты, или молекулярные сита, представляют собой алюмо-силикаты, содержащие оксиды щелочных и щелочно-земельных металлов. По принципу разделения цеолиты отличаются от других адсорбентов — в них молекулы адсорбтива «просеиваются» сквозь ажурную структуру цеолита. В связи с этим цеолиты характеризуются не удельной площадью поверхности пор, а объемным заполнением пор адсорбатом, составляющим $0,2...0,25\text{ см}^3/\text{г}$. Насыпная плотность $600...800\text{ кг}/\text{м}^3$.

Глины (бентониты, диатомиты, трепела, опоки) имеют худшие адсорбционные свойства ($35...150\text{ м}^2/\text{г}$, $400...450\text{ кг}/\text{м}^3$), но значительно дешевле других адсорбентов.

Активность адсорбента (поглощающая способность, или количество поглощенного вещества) зависит как от его природы, так и от условий ведения процесса — давления, температуры.

Активность адсорбента можно частично восстановить путем десорбции.

Основные способы *десорбции*: повышение температуры адсорбента; понижение давления над ним; продувка нагретым газом или перегретым паром; вытеснение поглощенных компонентов другим веществом, обладающим более высокой адсорбируемостью, но легко удаляемым одним из известных простых методов десорбции.

АДСОРБЕРЫ

Различают адсорберы периодического и непрерывного действия. Адсорберы периодического действия делятся на адсорберы с плотным и кипящим слоем; аппараты непрерывного действия — на аппараты с движущимся слоем адсорбента и с кипящим слоем.

Адсорберы периодического действия komponуют в адсорбционные установки по два агрегата, а процесс организуют таким образом, что во время работы на адсорбцию первого корпуса во втором протекают процессы регенерации (десорбции, сушки и охлаждения адсорбента). В аппаратах периодического действия с кипящим слоем устраивают сепаратор, препятствующий уносу частиц адсорбента.

Аппараты непрерывного действия с движущимся слоем устраивают в виде колонн, разделенных на секции, в каждой из которых протекает соответствующая стадия процесса. В первой сверху секции охлаждается адсорбент после регенерации; эту часть колонны устраивают в виде теплообменника, в котором охлаждающая жидкость проходит внутри труб. Адсорбент проходит в пространстве между холодными трубами и переходит во вторую секцию.

дешевле других адсорбентов.

Активность адсорбента (поглощающая способность, или количество поглощенного вещества) зависит как от его природы, так и от условий ведения процесса— давления, температуры.

Активность адсорбента можно частично восстановить путем десорбции.

Основные способы *десорбции*: повышение температуры адсорбента; понижение давления над ним; продувка нагретым газом или перегретым паром; вытеснение поглощенных компонентов другим веществом, обладающим более высокой адсорбируемостью, но легко удаляемым одним из известных простых методов десорбции.

Обогащенный газ, из которого выделяется компонент, поступает через распределитель в нижней части второй секции, проходит вверх через слой адсорбента этой секции и удаляется через верхний коллектор обедненного газа. Третья (нижняя) секция аппарата является регенератором (десорбером). В ней протекает десорбция поглощенного ранее компонента. Она устроена, как и верхняя секция, в виде теплообменника, по трубам которого циркулирует греющий агент (пар). Адсорбент этой секции продувается воздухом. Продувочный воздух вводится через нижний коллектор и отводится через верхний коллектор. Регенерированный адсорбент удаляется через шлюзовый затвор и пневмотранспортом исправляется в верхнюю секцию аппарата.

Экстрагирование

Экстрагирование — разделение неоднородной системы типа Т—Г (твердое тело — газ) путем извлечения из сложного по составу вещества одного или нескольких компонентов с помощью растворителя (экстрагента), обладающего избирательным действием. Этот процесс осуществляется в

экстракторах. В случае если смесь веществ, из которой извлекается один или несколько компонентов, является жидкой, разделяемая система становится однородной и термин «экстрагирование» заменяется термином «экстракция».

В ходе экстрагирования последовательно протекают четыре простых процесса: проникновение растворителя в поры частиц сырья; растворение извлекаемого компонента; перенос его внутри частицы к ее поверхности; перенос от поверхности вещества в объем экстрагента. В конкретных случаях отдельные процессы могут отсутствовать или не играть существенной роли.

В частности, две первые стадии процесса могут протекать быстро по сравнению с двумя вторыми и потому их можно не учитывать при анализе динамики процесса.

В технологии мяса, рыбы и других неоднородных систем с твердой фазой применяют так называемую обратную экстракцию. Она заключается в насыщении системы одним или несколькими компонентами путем ввода их в нее в растворенном виде диффузией из окружающей среды. Примерами таких процессов могут служить посол, маринование, копчение и др. В них солевой или другой водный раствор, или сложный по составу газ проникает в глубь твердого пористого продукта, смешивается с йодными растворами, заполняющими их поры, и передает им часть своих растворенных веществ. Экстрагирование и обратная экстракция — процессы, описываемые однотипными математическими выражениями. Поэтому их специального рассмотрения не требуется.

Однако технологическая реализация экстрагирования и обратной экстракции может существенно различаться. В частности, вариантами реализации обратной экстракции можно считать процессы инжетирования растворов и массирования посола.

Инжетирование заключается во введении в исходный пористый материал (мясо, рыба) посолочного раствора через шприц. Введенный раствор диффундирует наружу сквозь пористый материал, и таким образом обеспечиваются условия для его ускоренного посола или маринования.

Массирование заключается в перемешивании дисперсионной среды вокруг дисперсных кусочков мяса или рыбы в закрытых емкостях путем их встряхивания. Перемешивание выравнивает концентрацию экстрагируемого вещества в дисперсионной среде, что увеличивает градиент концентрации экстрагируемого вещества вблизи твердой поверхности продукта и этим интенсифицирует процесс в целом. Встряхивание обычно сопровождается частичным периодическим сжатием твердых продуктов под действием инерционных сил.

Правильный выбор растворителя (экстрагента) — важнейший фактор, определяющий эффективность всего процесса экстрагирования. Он должен обладать избирательной растворимостью, обеспечивать высокую скорость

растворения, иметь низкую температуру кипения (легко отгоняться), быть чистым и однородным, чтобы не портить получаемого продукта, не оставлять запаха и не давать вредных соединений с экстрагируемым веществом, не вызывать коррозии оборудования, быть пожаро- и взрывобезопасным, дешевым. В качестве экстрагентов применяют воду, спирт, водоспиртовую смесь, бензин, бензол, дихлорэтан, сжиженные газы и др.

Среди экстрагентов особое место занимают сжиженные газы : диоксид углерода, этан, пропан, ацетилен, азот, оксиды азота, фреоны (R 12,-13,-22,-23) и др. В сжиженном состоянии они характеризуются хорошей растворяющей способностью, высокой селективностью, химической индифферентностью к экстрагируемым веществам, эффективно отгоняются от экстрагированных веществ при относительно низких температурах (до 50 °С), а также обеспечивают стерильность экстрактов, блокируя жизнедеятельность микроорганизмов. Они безвредны для людей и относительно дешевы. Среди них на первом месте по технологическим возможностям стоит диоксид углерода (CO₂).

Обобщенной движущей силой $Xв$ данном массообменном процессе служит разность концентраций экстрагируемого вещества в твердой и жидкой фазах ($X=C_1 - C_2$). Она изменяется по ходу движения продукта. Здесь черта над обозначением параметра означает его осреднение по соответствующему пространству (в данном случае по твердой частице). Результатом процесса является поток экстрагируемого вещества M . Связь между M и X записывается стандартно и имеет вид

$$M = KX,$$

где K — феноменологический коэффициент. Его физический смысл характеристика интенсивности извлечения экстрагируемого продукта.

Литература: 1, с.15-20; 2, с.350

Тема 7 Механические процессы.

Цель: изучить основные механические процессы пищевых производств.

План: виды измельчения; дробление; резание; шлифование; обработка давлением.

ВИДЫ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ. КРИВЫЕ РАСТЯЖЕНИЯ И СЖАТИЯ

Измельчение (механическое) — разделение твердых тел на части под действием механических сил. Если образующиеся в процессе измельчения

части имеют случайную форму, то такой процесс называют *дроблением*, если им придается определенная форма — *резанием*.

В основу представлений о разрушении материалов обычно кладут эмпирические зависимости их деформации ϵ от напряжений σ . Их получают, подвергая образцы материалов растяжению или сжатию, а выявленные свойства относят и к другим деформациям — кручению, изгибу, истиранию, раскалыванию, раздавливанию, удару и др. Полученные зависимости называют кривыми растяжения или сжатия. На кривых растяжения проявляется больше особенностей, связанных с деформациями реологических материалов, к которым относят большинство пищевых продуктов.

Кривая растяжения для наиболее характерного реологического материала изображена на рисунке 43.1. На кривой растяжения можно выделить четыре характерных участка.

На *первом участке* деформация пропорциональна напряжению, т. е. подчиняется закону Гука. Его можно назвать участком упругих деформаций, аналогичным соответствующим участкам кривых растяжения металлов. Если хрупкие металлы разрушаются в конце этого участка, то для реологических материалов характерны еще три. На *втором участке* темп нарастания напряжений постепенно уменьшается и на третьем переходит в предельно малый. На этом участке реализуются большие деформации при небольшом повышении напряжения. Поперечные размеры образца уменьшаются, а его длина увеличивается, достигая 500...700% от первоначальной. На *четвертом участке* темп увеличения напряжения с возрастанием деформации вновь увеличивается, а напряжение достигает максимума. Вблизи окончания этого участка образец разрушается. Разрушение может реализоваться и раньше достижения максимума напряжения, а также на третьем участке кривой растяжения в зависимости от свойств материала.

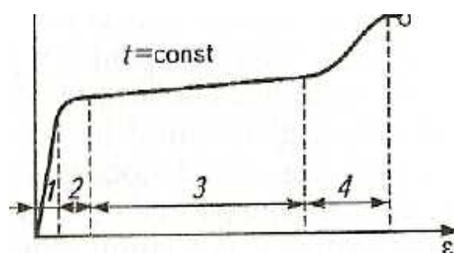


Рис. 15. Характерный вид кривой растяжения реологического материала:

1 — область деформаций по закону Гука; 2 — область появления трещин серебра; 3 — область высокоэластического состояния; 4 — область деформации упрочненного материала.

На *втором участке* кривой растяжения на поверхности образца могут появляться характерные линии, расположенные под углом 45° к направлению

растяжения. Эти линии являются так называемыми трещинами серебра, которые характерны только для реологических материалов. Свое название они получили потому, что при их появлении поверхность материала приобретает серебристый цвет. Их отличительным признаком является наличие тяжей, связывающих стенки трещины друг с другом. Тяжи — это волокна из ориентированно расположенных молекул. Они выравнивают распределение напряжений в материале. По мере роста трещин в глубь материала и разрыва тяжей трещины серебра переходят в обычные трещины. Их развитие может привести к полному разрушению материала.

В зависимости от свойств реологического материала *третий участок* может быть длиннее или короче, а с уменьшением молекулярной массы до характерной величины, называемой массой сегмента, вообще исчезает. При этом реологический материал по своим прочностным свойствам перестает отличаться от материалов с малой молекулярной массой.

На *третьем участке* кривой растяжения происходит специфичное для реологических материалов явление. Материал из первоначально толстого сечения образца переходит в тонкую и увеличивающуюся по длине шейку. Ее сечение остается неизменным, а волокна и длинные молекулы материала ориентируются вдоль направления действия нагрузки. Этот участок кривой растяжения заканчивается, когда весь материал образца перейдет в шейку. Трещины серебра при этом «залечиваются», т. е. исчезают. Если данный процесс специально организовать, он будет называться холодной вытяжкой, или ориентационным упрочнением. Это приводит к значительному упрочнению материала в направлении вытяжки за счет ориентации молекул и надмолекулярных структур. В других направлениях прочность материала уменьшается.

В связи с этим *четвертый участок* кривой растяжения может рассматриваться как деформация упрочненного материала.

«Залечивание» трещин серебра (и других дефектов реологических материалов) объясняется следующим. При вытяжке материала длинные молекулы и надмолекулярные образования ориентируются в направлении приложенных нагрузок и своими боковыми поверхностями деформируют дефект (он сжимается и удлиняется). Сильно деформированный дефект приобретает вид вытянутой нити, разорвав-

шейся на отдельные куски. В промежутках между кусками нити образуются поперечные связи молекул материала, что и «залечивает» дефект, как бы возвращая материалу целостность.

Важнейшее свойство части реологических материалов — обратимость деформаций на всех участках кривой растяжения, за исключением самой последней части — четвертого участка, когда в образце реализуются начальные стадии разрушения. Образцы возвращаются к исходной форме, когда их деформация превышает 500...700 % и более. Для восстановления их формы в обычных условиях требуется длительное время, которое резко уменьшается при нагревании образца. После восстановления формы образца

к нему возвращаются и все его прочностные свойства. Это не относится, однако, к пластическим материалам, которые деформируются необратимо.

Большое значение имеет такая характеристика реологических материалов, как зависимость кривых растяжения от скорости деформирования. Снижение скорости деформирования приводит к уменьшению напряжений, вызывающих те же деформации.

На все упомянутые параметры деформирования самое существенное влияние оказывают температура и продолжительность приложения нагрузок. Поэтому реологические свойства материалов изучаются в пространстве трех параметров: напряжение — температура — время.

ДРОБЛЕНИЕ

Способы дробления. Их классифицируют по характеру основной реализуемой деформации на дробление при помощи удара, раздавливания, раскалывания, истирания, разрыва и изгиба. Реальные процессы дробления зачастую используют два или более из этих способов: сжатие с ударом, удар и истирание и др.

Степень дробления i — это отношение характерных размеров кусков материала до D и после d дробления, т. е. $i = D/d$.

По размерам частиц, получаемых в результате дробления, оно бывает крупное, среднее, мелкое, тонкое, сверхтонкое и коллоидное. В таблице приведены характерные размеры частиц до и после дробления для разных его типов.

Характерные размеры частиц для разных типов дробления

	Размеры частиц, мм	
	поступающих на	после дробления
Крупное	1000...200	250...40
Среднее	250...25	40...10
Мелкое	50...25	10...1
Тонкое	25...3	1...0,1
Сверхтонкое	3...0,2	0,3...0,01
Коллоидный размер	0,2...0,1	до 0,001

Классификация типов дробления отражает следующую объективную закономерность. Всякий измельчитель относится к какому-либо одному сочетанию размеров измельчаемых частиц. Как правило, не удастся создать измельчитель, охватывающий по своим возможностям два класса или более из данной классификации. Например, нет устройств, на вход которых поступали бы изначально крупные куски материала, а на их выходе материал характеризовался бы мелкими размерами. Для получения мелкодисперсного материала в этом случае последовательно с первым измельчителем

обязательно нужно установить еще один измельчитель — для получения материала средней дисперсности.

Затраты энергии на дробление. В процессе дробления внешние силы преодолевают силы взаимного сцепления частиц материала. На это затрачивается работа, которая складывается из следующих составляющих:

непосредственное разделение частиц или, как это называют, создание новых поверхностей, т. е. затраты работы на приращение поверхности твердых тел;

объемная деформация разрушаемых частиц;

тепловой эффект процесса, рассеиваемый в окружающем пространстве.

Первая составляющая работы полезная; вторая может быть признана полезной в той части, которая необходима для последующего разделения крупной частицы на более мелкие составляющие, т.е. полезной с коэффициентом γ), имеющим смысл КПД процесса. Третья составляющая работы в основном теряется для данного процесса.

На основании такого разделения работы на составляющие П. А. Ребиндер представил полезную работу дробления A феноменологическим уравнением

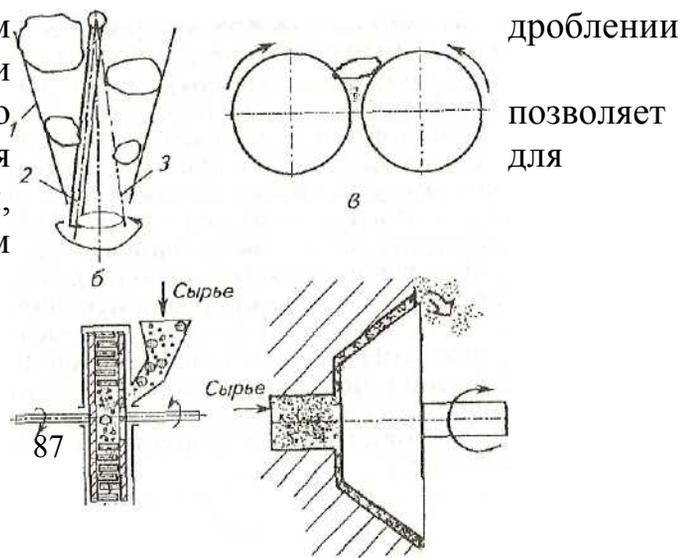
$$A = A_1 + A_2 = DS H_s + DV N_M$$

где A_1, A_2 - составляющие работы дробления, затрачиваемые на образование

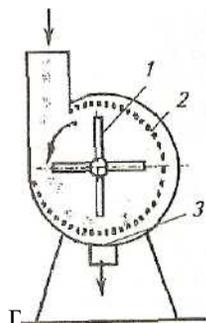
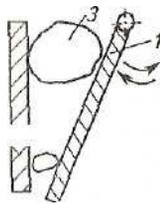
новой поверхности и деформацию; DS — приращение площади поверхности; H_s — феноменологический коэффициент, или постоянная материала, пропорциональная свободной поверхностной энергии твердого тела; $D V$ — феноменологический коэффициент, или деформация объема материала перед разрушением; N_M — постоянная материала, характеризующая его структурно-механические и физико-химические свойства.

В этом феноменологическом уравнении движущие силы выражены не прямо, а косвенно — через результат их действия. Движущая сила для совершения механической работы выражена через приращение площади свободной поверхности частиц, а для совершения работы деформации — через их деформацию. Такое преобразование не изменяет вида феноменологических зависимостей.

При крупном, среднем и мелком, $A_1 < A_2$, а при тонком, сверхтонком и коллоидном — наоборот. Это соответственно упрощает уравнения оценки полезной работы дробления, пренебрегая одним или другим слагаемым в правой его части.

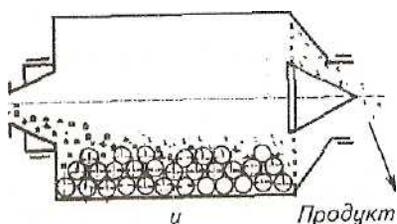
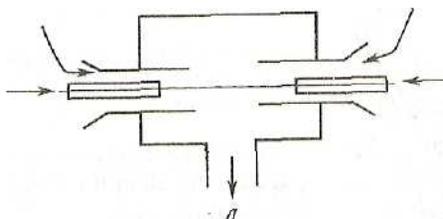


а

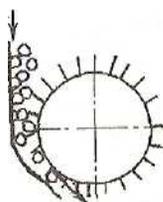
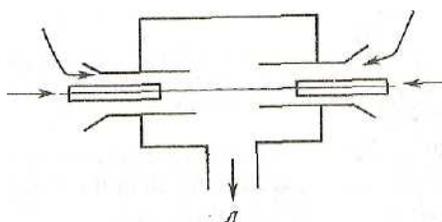


Г

Д



з



и

Рис. 16 Принципиальные схемы дробилок:

а – щековая; б – конусная; в – вальцовая; г – молотковая; д – дезинтегратор; е – коллоидная мельница; з – шаровая; и – терка.

Требования к дробилкам. Общие требования к дробилкам: малый разброс размеров измельченного материала; быстрое удаление из зоны дробления измельченного материала для сокращения затрат энергии на дробление;

легкая замена изнашивающихся элементов; минимальное пылеобразование; наличие устройств, предохраняющих от поломки при попадании в зону дробления прочных предметов; малая масса.

Схемы дробилок. Основные схемы дробилок показаны на рисунке 17.

Щековые, или челюстные, дробилки. В пищевой промышленности их применяют на сахарных заводах для измельчения известняка, используемого при получении углекислого газа в печах его обжига. В щековых дробилках (рис. 17а) куски материала раздавливаются между подвижной 1 и неподвижной 2 щеками.

Щековые дробилки просты и надежны в работе. В них подвижная щека приводится в действие кривошипно-шатунным механизмом, поэтому они создают значительную вибрацию фундаментов. Вибрации заметно уменьшаются, если применяют гидропривод.

Конусные (гирационные) дробилки раздавливают материал между наружным конусом 1 и пестиком 2. Пестик 2, вращаясь, описывает своей осью коническую поверхность 3. Вследствие этого расстояния между конусом и пестиком изменяются и попадающий между ними материал **дробится**. Применяют для крупного и среднего дробления.

Вальцовые дробилки дробят материал путем сжатия и истирания (см. рис. 17, в). Если вальцы изготовляют рифлеными, материал **еще** и раскалывается. Применяют для среднего, мелкого и тонкого дробления.

Вальцовые дробилки могут иметь одну, две или несколько пар вальцов 1 и 2, вращающихся вокруг горизонтальной оси. Вальцы вращаются навстречу один другому. При случайном попадании между вальцами твердого предмета один из них отодвигается от другого, а потом возвращается пружинами на свое место. Чтобы материал был захвачен вальцами, между размерами вальцов и материала на входе должно выдерживаться определенное соотношение. Последнее получим для частиц материала цилиндрической формы.

Измельчители ударного типа представлены молотковыми дробилками (см. рис. 17, г) и дезинтеграторами (см. рис. 17, д).

Молотковые дробилки (см. рис. 17, г) дробят попадающий в них материал вращающимися молотками /и ударами материала о неподвижную рифленую деку 2. Измельченный материал проходит в зону выгрузки через сито 3 и, если он задерживается ситом, возвращается в зону дробления аэродинамическими силами. Применяют для среднего, мелкого и тонкого дробления хрупких материалов.

Молотковые дробилки изготовляют с молотками, свободно качающимися на их осях. При вращении молотки принимают положение, близкое к радиальному. Окружная скорость на концах молотков должна обеспечивать разрушение материала при ударе по нему. Она находится из закона сохранения количества движения.

Дезинтегратор, обеспечивающий тонкий помол материалов (см. рис. 17, д), содержит два диска, вращающихся в разные стороны с большой скоростью. На дисках закреплены пальцы (била), каждый из которых расположен между

двумя рядами пальцев второго диска. Частота вращения дисков 200... 1000 об/мин, скорость удара — до 300 м/с, частота ударов $10^3 \dots 10^4$ 1/с. Скорость на наружном диаметре дисковых дробилок составляет 7...8 м/с.

Измельчитель, в котором один из дисков неподвижен, называют дисмембратором. Если ось дисмембратора установлена вертикально, его называют энтолейтором.

Шаровые (стержневые) мельницы дробят и истирают материал между падающими шарами (см. рис. 17, и) или стержнями. Применяют шаровые мельницы для мелкого и тонкого дробления. Степень дробления можно повысить до сверхтонкой, сообщив барабану мельницы вибрационные движения в вертикальной плоскости, передающиеся через его опоры. Основное условие нормальной работы шаровых и стержневых мельниц — невовлечение шаров (стержней) по вращению вместе с корпусом под действием центробежной силы. Для этого вес шаров $G = mg$, где m — масса шара, кг; g — ускорение свободного падения, м/с², должен превосходить центробежную силу P .

Жернова (см. рис. 17, ж) измельчают материал вращающимися рабочими элементами путем истирания и отчасти раздавливания.

Струйные мельницы (см. рис. 17, л) разгоняют дробящиеся частицы до больших скоростей в газовой струе и соударяют одну частицу с другой. Основное влияние на дробление при этом оказывает истирание частиц при взаимном трении их поверхностей. Обеспечивают тонкое или сверхтонкое дробление.

Мельницы коллоидного дробления измельчают материал в малых зазорах между вращающимися деталями в присутствии дисперсионной среды

(жидкость или иногда — газ), предотвращающей слипание частиц. Измельчение в них осуществляется путем разрыва частиц, увлекаемых в движение вращающимся ротором и задерживаемых неподвижным корпусом.

РЕЗАНИЕ

Резание — разделение материала с приданием ему заданной формы, размеров и качества поверхности. Устройства для резания классифицируют:

по назначению — для резания хрупких, твердых, упруговязко-пластичных и неоднородных материалов;

по принципу действия — на периодические, непрерывные и комбинированные;

по виду режущего инструмента — на пластинчатые, дисковые, струнные, гильотинные, роторные, струйные (жидкостные и пневматические), ультразвуковые и лазерные;

по характеру движения режущего инструмента — с вращательным, возвратно-поступательным, плоскопараллельным, поворотным и вибрационным движением;

по характеру движения материала при резании и по виду его крепления.

Схема зоны резания материала. Резание заключается в разрушении некоторого слоя материала непосредственно под режущей кромкой инструмента под влиянием давления на нее со стороны инструмента. Разрушающийся слой материала иногда называют граничной зоной. По мере продвижения инструмента данный слой подвергается вначале упругой, а потом пластической деформации. Если напряжение превышает предел прочности, происходит его разрушение и продвижение через него режущей кромки инструмента. Работа в процессе резания затрачивается на создание упругой и пластической деформации, а также на преодоление трения инструмента о разделяемые части материала.

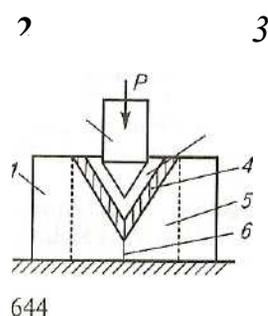


Рис. 17. Схема зоны резания материала:

1—разрезаемый материал; 2— режущий инструмент; 3— зона пластических деформаций; 4 — зона упругих деформаций; 5— зона воздействия инструмента; 6 —линия разрушения

Машины для резания. Наиболее производительные машины для резания применяют на сахарных заводах. Такая машина представляет собой горизонтальный вращающийся диск с лопастями и накрывающий его неподвижный барабан. В прорезях барабана устанавливают рамы с ножами. Диск вращается с частотой 70 об/мин при средней линейной скорости в районе ножей 8 м/с. Барабан заполняют свеклой, которая, попадая на диск, прижимается центробежной силой к ножам и режется в стружку. Профиль последней определяется формой ножей.

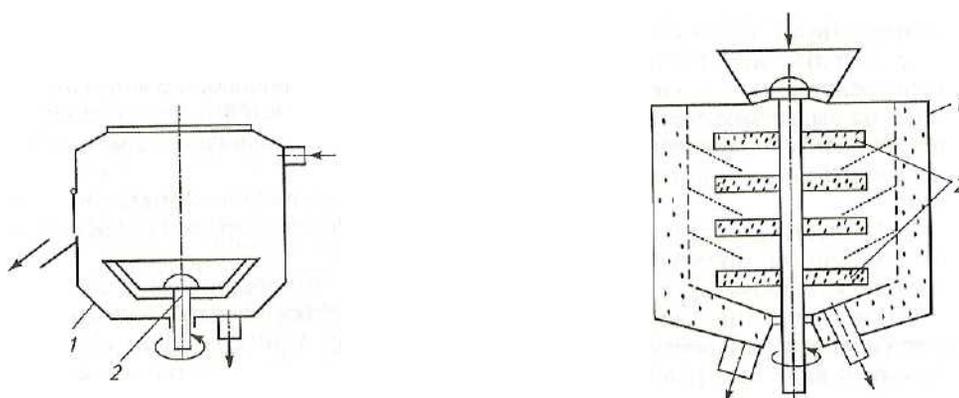
В мясной и консервной промышленности широко применяют машины для резки мяса, хлеба, картофеля и свеклы, называемые волчками. Конструкция их напоминает бытовую мясорубку. Резание осуществляется парой режущих инструментов— неподвижной ножевой решеткой (декой) и плоским вращающимся ножом. Материал подается шнеком в зону резания, вдавливается в решетку и подрезается вращающимися плоскими ножами, прижимающимися к решетке. Частота вращения шнека для тихоходных волчков 100...200, быстроходных — более 300 об/мин.

ШЛИФОВАНИЕ

Шлифование применяют для удаления относительно тонких поверхностных слоев материала с зернистых или штучных твердых продуктов округлой формы: корнеплодов, зерна, зерновых крупок и др. Цель шлифования корнеплодов — удаление их поверхностных слоев (очистка от кожуры, ошкуривание). Соответственно шлифование зернопродуктов имеет целью их шелушение (снятие поверхностной пленки) или сглаживание поверхностных выступов.

Шлифование осуществляется в результате трения частиц материала друг о друга и об абразивные поверхности машин. Прижатие частиц материала друг к другу или к твердым поверхностям осуществляется центробежными, массовыми или другими силами путем соответствующей организации движения в полостях машин. Для лучшего удаления поверхностного слоя зерно увлажняют, сохраняя эндосперм более сухим. При этом удаляемый слой становится более эластичным, а его связь с эндоспермом ухудшается. Снижение прочности поверхностного слоя корнеплодов достигается обработкой щелочными растворами, острым паром и газами высокой температуры.

Схема машины для механической очистки корнеплодов от кожуры показана на рисунке 43.8, схема машины для механического шелушения зерна на абразивных шлифовальных кругах (зерношелушителях) — на рисунке.



ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Обработка давлением заключается в сдавливании материала, что придает ему требуемую форму или вызывает деформацию внутренних структур с относительным сдвигом слоев.

Процессы, в которых реализуется сдавливание материалов, можно разделить на две группы: прессование и формообразование.

Прессование. Оно заключается в сдавливании обрабатываемого материала с помощью пресса. При этом достигается либо отжим жидкости из влажного кашицеобразного или твердого тела, либо связывание сыпучих материалов в более крупные образования (брикеты, гранулы, таблетки). В последнем случае процессы прессования называют также брикетированием, гранулированием, таблетированием.

Отжим жидкости из материала. Происходит вследствие уменьшения занимаемого им суммарного объема. При этом размеры пустот и пор в нем уменьшаются, а жидкая составляющая материала все более их заполняет. В этот период давление жидкости в порах не увеличивается. Дальнейшее сдавливание приводит к росту давления жидкости в материале. Под его воздействием жидкость вытекает через поры наружу. Такое течение подчиняется закону Пуазейля.

Такое течение жидкости продолжается до тех пор, пока весь объем капилляров заполнен жидкостью. При их даже незначительном освобождении от жидкости избыточное давление скачком падает до нуля и течение прекращается. Поэтому общий объем отжатой жидкости оказывается равным уменьшению объема материала в процессе отжима, отсчитываемому от момента, когда все поры и пустоты в материале заполнятся отжимаемой жидкостью.

Итак, процесс отжима жидкости из материала можно представить как начальное его сдавливание до момента заполнения пор и пустот жидкостью, содержащейся в нем, и последующее ее выдавливание через заполненные капилляры при их сдавливании.

Связывание сыпучих материалов в более крупные образования. Реализуется в процессах их сдавливания в закрытых формах при наличии или отсутствии связующего материала.

Явление связывания отдельных частиц заключается в сближении молекул, находящихся на поверхности сдавливаемых частиц, и образовании между ними молекулярных связей. Важнейшее влияние на это явление оказывает состояние поверхностей сближаемых частиц. Их поверхность может быть чистой, не содержащей пленок, отличающихся по химическому составу от основного материала частиц, а может быть покрыта загрязняющими пленками. Поверхностные пленки могут как препятствовать связыванию частиц, так и способствовать ему. В последнем случае их называют связывающими, а материал, из которого они состоят, связующим материалом.

Препятствуют связыванию частиц оксидные пленки и загрязняющие материалы, отличающиеся уменьшенным химическим средством с основным материалом частиц.

Связующие материалы можно разделить на две большие группы—клеящие и изменяющие поверхностные свойства связываемых частиц. Клеящие материалы обладают повышенной адгезией с частицами. Поверхностные свойства агрегатируемых частиц можно изменять в направлении улучшения

их связывания, например добавлением воды к пищевым или кормовым измельченным материалам. При этом поверхность частиц увлажняется и приобретает свойства полимеров. Такие материалы легко агрегируются сдавливанием. После агрегатирования вода, представляющая собой в данном случае связующий материал, распределяется диффузией по всему объему материала. Для ее удаления агрегатированный материал может быть подсушен.

Очевидно, что концентрацию связующего материала следует оптимизировать. Слишком большое или слишком малое его содержание приводит либо к чрезмерно большому разжижению поверхностных слоев частиц, либо к недостаточному преобразованию этих слоев в полимер. В обоих этих случаях агрегатирование частиц затруднено.

Связывание сыпучих материалов в более крупные агрегаты реализуется в процессах брикетирования, гранулирования, таблетирования, окатывания, дражирования. В соответствии с названиями этих процессов их конечными продуктами являются брикеты, гранулы, таблетки, окатыши и драже. Часто эти продукты похожи один на другой, но различаются размерами. Брикетты или наиболее крупные агрегаты имеют размеры порядка 100...200 мм; окатыши — 20...40 мм; гранулы и драже — 1...20 мм; таблетки — 12...50 мм.

Для процессов окатывания, дражирования и гранулирования сыпучих пищевых или кормовых продуктов из растворов и пульп характерно их адгезионное связывание (слипание). Кроме сил адгезии агрегатированию частиц способствуют силы: капиллярные, адсорбционные, молекулярные и др. Результат их совместного действия существенно зависит от предварительной подготовки поверхности частиц или от способа их механического образования. Агрегатирование происходит в процессе перемешивания частиц. *Окатывание* — обобщенное название способов перемешивания.

Дражирование — разновидность адгезионного гранулирования окатыванием. В процессе дражирования семена, зерна, орешки, изюм, цукаты или ядра будущих драже (обязательно при наличии клеящего вещества) перекатываются в адгезионном барабане и на них наслаиваются оболочки из порошков какао, сахарной пудры и др. При дражировании посевного материала на поверхность семян наносится слой из пестицидов и протравителей.

Гранулирование из растворов, суспензий и пульп обычно осуществляют в двухфазных потоках из гранулируемого вещества и газообразного сушильного агента. Этот процесс осуществляют либо в псевдооживленном слое, либо во встречных закрученных потоках. В обоих случаях подсушиваемые частицы суспензий или пульп слипаются при достижении приемлемой для этого влажности, и на их поверхность налипают новые частицы до тех пор, пока они находятся во взвешенном состоянии в потоке газа. При достижении определенных размеров частицы (теперь уже гранулы) выпадают из

взвешенного состояния вследствие увеличения их массы. Выпавшие частицы отводят как готовый продукт.

Адгезионные свойства поверхностей пищевых или кормовых материалов используются также в процессах *намазывания* пастообразных продуктов на формирующий каркас из других материалов. Намазыванию подвергают кремообразные продукты в кондитерских производствах, сливочное масло, маргарины и пасты в кулинарных производствах и др.

Брикетирование и *таблетирование*, как и гранулирование, характерны тем, что к исходному сыпучему материалу добавляется вода или другая жидкость в качестве связующего и полученная масса вдавлируется пуансонами в замкнутую матрицу или продавливается через отверстия, играющие роль матрицы. Полученные продукты подсушиваются для удаления теперь уже не нужной воды. Штампование брикетов и таблеток возможно как непосредственно из мелкодисперсного сыпучего материала, так и из предварительно полученных мелких гранул)

Формообразование. Оно является процессом придания материалам желаемой формы и реализуется в операциях штампования, выдавливания (нагнетания), прокатывания, округления, закатывания и др.

Формообразование как процесс придания материалам желаемой формы может осуществляться как путем заполнения замкнутых формообразующих объемов, так и циклическими силовыми воздействиями на поверхность отдельных кусков материала.

Замкнутые объемы или формы, используемые для формообразования, обычно изготавливают разъемными, а их части называют матрицами и пуансонами. После вдавливания материала с помощью пуансона в матрицу отформованный таким образом материал выталкивается из нее. Такой процесс называют штампованием. Если же материал в виде непрерывного жгута продавливается через фигурные отверстия детали, которая также называется матрицей, то такой процесс называют нагнетанием или выдавливанием. Методом выдавливания изготавливают, например, макаронную продукцию, конфетные жгуты, сырки и т. п.; методом штампования — печенье, вафли, пряники, конфеты и др.

Формообразование путем воздействия на поверхности кусков изделий реализуется при прокатывании листов теста, округлении тестовых заготовок до шарообразной или удлиненной цилиндрической формы, закатывании начинки в листовые тестовые заготовки и т. п.

Основное явление, определяющее специфику формообразования пищевых материалов (по сравнению, например, с аналогичными процессами формообразования металлов) — релаксация напряжений в полимерных материалах. Физическая его сущность заключается в следующем.

В соответствии с представлениями о строении полимерных материалов длинные молекулы полимеров скреплены одна с другой относительно редко расположенными поперечными связями. Это дает возможность частям молекул, расположенным между точками их связи, при сохранении

целостности материала перемещаться в пространстве, т. е. могут возникать большие упругие деформации. Вследствие этого при формовании такого материала после исчезновения внешней нагрузки, под воздействием которой он заполнил пространство матрицы штампа, изделие может частично или полностью вернуться к исходному недеформированному состоянию. При этом форма, приданная ему штампом, потеряется, а выдавленный на его поверхности рисунок расплывется и станет нерезким.

Если же после заполнения формы матрицы материал оставить и ней на некоторое время при сохранении внешнего силового давления, произойдет следующее. Упруго нагруженные внутренние поперечные связи молекул в

значительной мере разорвутся, а в местах нового сближения молекул образуются новые поперечные связи. В результате материал примет новое устойчивое состояние с уменьшенными (релаксировавшими) внутренними напряжениями. Это новое устойчивое состояние будет соответствовать новой форме, приданной штампом.

Таким образом, особенность формообразования пищевых материалов состоит в необходимости их выдержки под давлением в матрице штампа. Продолжительность выдержки определяется фактическим законом релаксации напряжений в материале. Надо, чтобы напряжения релаксировали в достаточно полной мере, т. е. уменьшились по крайней мере на порядок.

Нагнетание (выдавливание через матрицу) пищевых материалов в виде непрерывных жгутов (макаронных изделий, конфетных масс, сырковых масс и др.) имеет ту специфичную особенность, что под влиянием повышенного давления, действующего совместно со сдвиговыми деформациями слоев материала, его длинные полимерные молекулы сближаются. В результате количество поперечных связей между ними существенно увеличивается и материал приобретает повышенную прочность. В частности, макаронные изделия, полученные таким способом, меньше развариваются.

Для увеличения этого эффекта используют ряд конструктивных и технологических приемов. Основные из них следующие:

- повышение давления на входе в матрицу до 35 МПа и больше;

- вакуумирование матрицы с целью удаления воздуха из теста и более тесного сближения молекул;

- специальное профилирование входной части отверстий матриц с целью увеличения относительных смещений слоев материала при движении по ней;

- повышение содержания клейковины в макаронном тесте с целью увеличения количества длинных полимерных молекул;

- использование для макаронного теста муки-крупчатки, внутренняя часть крупок которой остается менее влажной в процессе замеса и этим способствует отбору излишней влаги (действие, аналогичное технологическому приему уменьшения влажности макаронного теста);

добавление специальных присадок к тесту и др. Действуя совместно, эти приемы придают макаронным изделиям гладкость наружной поверхности и ее сохранение при варке без отрыва от поверхности части продукта и перехода его в воду.

Прокатывание — процесс деформирования материала между параллельно расположенными валками. В результате прокатки получают лист или жгут материала заданного профиля. По аналогии с процессом получения плоских листов при формировании пластмасс процесс раскатывания листовых заготовок теста и других материалов может называться также коландрированием.

В процессах *прокатывания* и *округления* тестовых заготовок действие на их поверхность усилий продолжается некоторое время. Этим прокатывание отличается от процессаковки, в котором продолжительность действия усилий на поверхность заготовки весьма мала. В результате процессы деформирования материалов при прокатывании, округлении и закатывании становятся возможными, хотя и требуют многократного повторения.

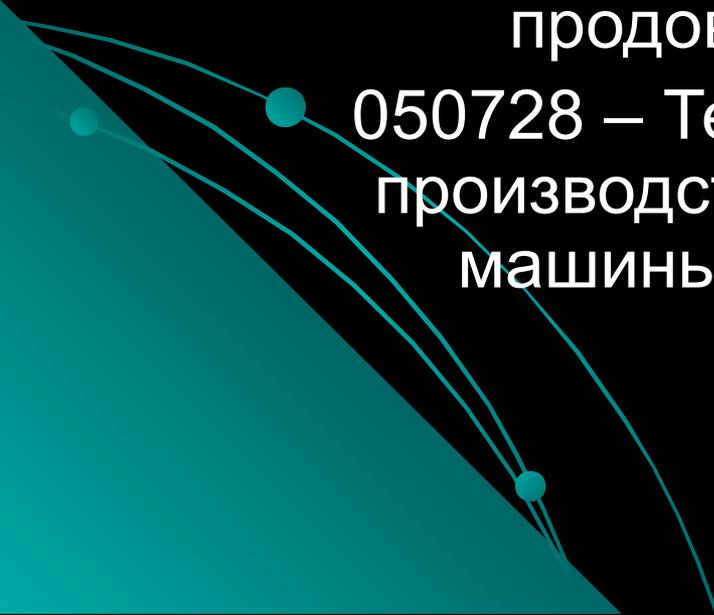
Итак, особенностью формообразования пищевых материалов является необходимость выдерживания материалов под нагрузкой в течение времени релаксации напряжений.

Литература: 1, с.15-20; 7, с.358

«Процессы и аппараты пищевых производств»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

для специальностей 050727 – Технология продовольственных продуктов,
050728 – Технология перерабатывающих производств, 050724 – Технологические машины и оборудование, 050701 – Биотехнология



ЛЕКЦИЯ 1

1. Определения и понятия
2. Классификация процессов
3. Основные принципы проектирования новых аппаратов



Основные понятия и определения

- **Процесс** – последовательные и закономерные изменения в системе, приводящие к возникновению в ней новых свойств.
- **Машина** – механизм (их сочетание) предназначенные для преобразования механической энергии в полезную работу.
- **Аппарат** – устройство для проведения какого-либо процесса.

В основе всех технологических процессов лежат законы сохранения энергии и массы:

- 1. тепловой баланс

$$\sum Q_{\Pi} = \sum Q_{P} + \sum Q_{\text{ПОТ}}$$

- 2. материальный баланс

$$\sum G_{\Pi} = \sum G_{K} + \sum G_{\text{ПОТ}}$$

$$dH(dI) = dQ = cdt$$

Классификация процессов

- Организационно-техническая
- По отношению ко времени
- По кинетическим закономерностям

Скорость процесса прямо пропорциональна движущейся силе и обратно сопротивлению:

$$I = \frac{x}{R} = Kx$$

● где x – движущая сила.

Классификация процессов

1 Организационно-техническая:

- А) периодический
- Б) непрерывный
- В) комбинированный

2 По отношению ко времени:

- А) установившиеся $\Pi \neq f(\tau)$
 - Π – параметр процесса
- Б) неуставившиеся $\Pi = f(\tau)$

Классификация процессов

- По кинетическим закономерностям:
- А) гидромеханические: $X_g = \Delta p$
- Б) механические: $X_m = \Delta F$
- В) тепловые: $X_t = \Delta t$
- Г) массообменные: $X_{mo} = \Delta c$
- Д) химические
- Е) микробиологические
- Ж) электрофизические: $X_{эл} = \Delta U$

Классификация процессов

1 ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

1.1	Образование неоднородных жидкостных систем	1.2	Разделение неоднородных жидкостных систем	1.3	Разделение неоднородных газовых систем
1.1.А	Перемешивание	1.2.А	Отстаивание	1.3.А	Осаждение под действием силы тяжести
1.1.Б	Диспергирование	1.2.Б	Фильтрование	1.3.Б	Осаждение под действием центробежных сил
1.1.В	Пенообразование	1.2.В	Центрифугирование	1.3.В	Фильтрация
1.1.Г	Псевдооживление			1.3.Г	Электроосаждение
1.1.Д	Разрушение и удаление неоднородных слоев				

Классификация процессов

2 МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

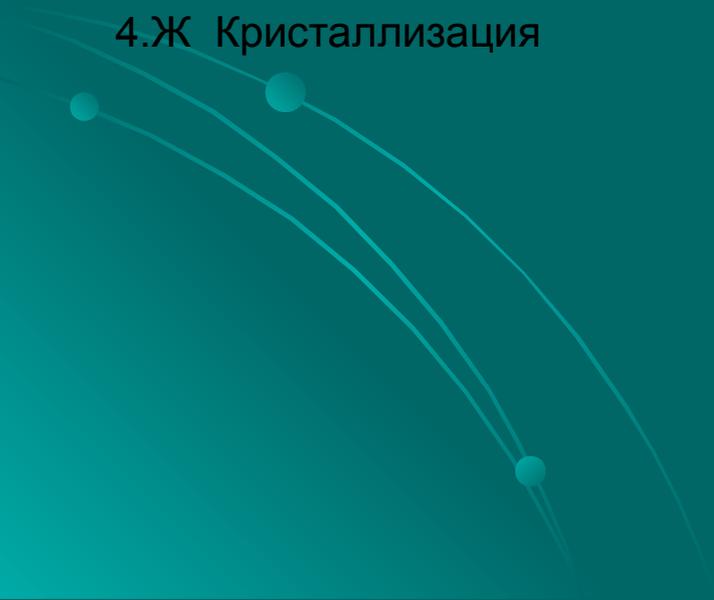
- | | | | |
|-------|--|-------|--|
| 2.1 | Образование однородных и неоднородных твердых, пластичных и сыпучих систем | 2.2 | Разделение твердых и сыпучих систем |
| 2.1.А | Измельчение | 2.2.А | Разделение неоднородных многокомпонентных систем с получением однокомпонентных |
| 2.1.Б | Перемешивание | 2.2.Б | Разделение неоднородных систем по размерам компонентов |
| 2.1.В | Прессование | | |

3 ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

- | | | | |
|-------|-------------------------------------|-------|------------------------------------|
| 3.1 | Без изменения агрегатного состояния | 3.2 | С изменением агрегатного состояния |
| 3.1.А | Нагревание | 3.2.А | Конденсация |
| 3.1.Б | Охлаждение | 3.2.Б | Парообразование |
| | | 3.2.В | Замораживание-размораживание |
| | | 3.2.Г | Плавление-отвердевание |

Классификация процессов

4 МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

- 4.А Абсорбция
 - 4.Г Ректификация
 - 4.Б Адсорбция
 - 4.Д Сушка
 - 4.В Экстракция
 - 4.Е Растворение
 - 4.Ж Кристаллизация
- 

Для описания состояния и его изменения различных тел используют физические величины, для их измерения – единицы системы СИ.

Разработка новых процессов и аппаратов состоит из нескольких стадий:

- Разработка технического предложения
- Создание эскизного проекта
- Создание технического проекта
- Создание конструкторской документации

Данные стадии предусматривают аналитические и экспериментальные исследования – для этого теория моделирования

1. Математическое моделирование:

- 1.1. Детерминированный подход – анализ элементарных явлений.
- 1.2. Стохастический – изучение влияния входных параметров на выходные.

2. Физическое моделирование – изучение процессов на конкретных моделях.

Основы теории подобия:

- *Процессы, происходящие в модели и натуральном аппарате, должны описываться одинаковыми уравнениями*
- *Модель должна быть геометрически подобна натуральному образцу*
- *Значения начальные и граничных условий процесса, выраженные в виде критериев, должны быть одинаковыми.*
- *Все критерии и безразмерные компоненты во всех сходных точках должны быть одинаковыми.*

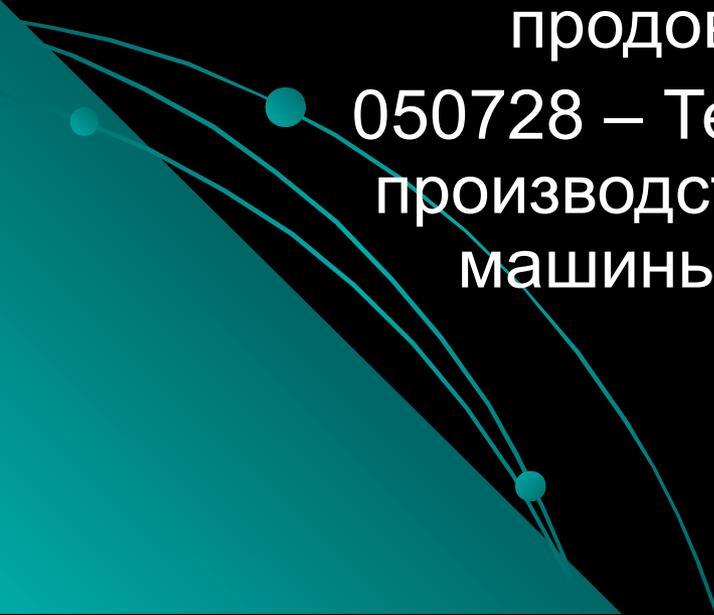
Требования, предъявляемые к аппаратам:

- Технологические – качество, короткое время, энерго-ресурсосберегающие.
- Эксплуатационные – простота обслуживания при минимальных затратах и времени, доступность для ремонта и чистки.
- Энергетические – энергосбережение.
- Конструктивные – унификация, стандартизация, снижение материалоемкости, эстетичность и т.д.
- Экономические
- Защита окружающей среды.

«Процессы и аппараты пищевых производств»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

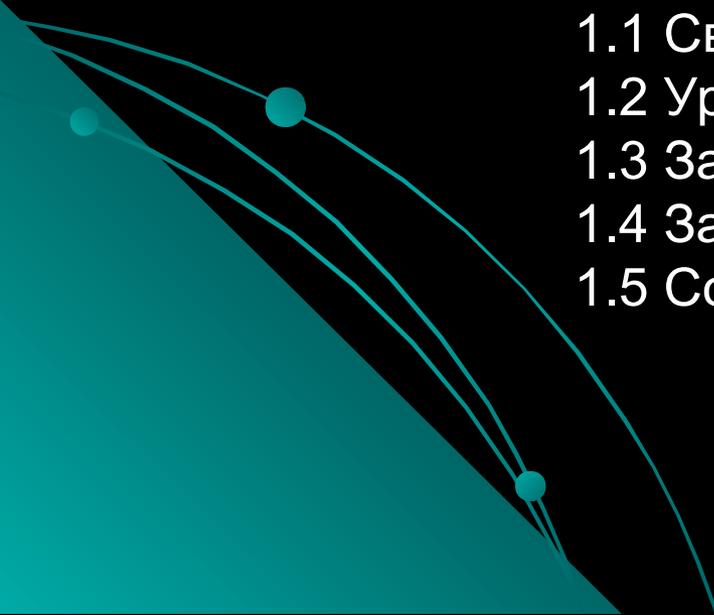
для специальностей 050727 – Технология продовольственных продуктов,
050728 – Технология перерабатывающих производств, 050724 – Технологические машины и оборудование, 050701 – Биотехнология



ЛЕКЦИЯ 2

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ

1. Гидростатика

- 1.1 Свойства жидкостей
 - 1.2 Уравнение Эйлера
 - 1.3 Закон Паскаля
 - 1.4 Закон Архимеда
 - 1.5 Сообщающиеся сосуды
- 

СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

Жидкость рассматривают как непрерывную материальную среду.
Ее свойства:

1. Плотность $\rho = \frac{dm}{dV}$ (кг/м³) $V_{уд} = \frac{dV}{dm}$ удельный объем
2. Упругость $\beta_{сж} = \frac{dV}{dpV}$ (коэффициент объемного сжатия)
3. Модуль объемной упругости $E = \frac{1}{\beta_{сж}}$
4. Коэффициент температурного расширения $\beta_t = \frac{dV}{dtV}$
5. Поверхность натяжения $\sigma_n = \frac{dF}{dl}$
6. Капиллярность
7. Вязкость $\eta = \frac{F}{\Delta S \left(\frac{dv}{dh} \right)}$

Где v – скорость, h – линейный размер поперечного сечения

СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

Согласно уравнению Ньютона для ньютоновской жидкости удельная сила трения определяется:

$$\sigma_t = \frac{\eta dv}{dh} \quad (1)$$

Неньютоновские жидкости (Бингама) – тесто, фарш, творог. Для них:

$$\sigma_{y\partial} = \sigma_{nm} + \frac{\eta dv}{dh} \quad (2)$$

σ_t – удельная сила трения, Па

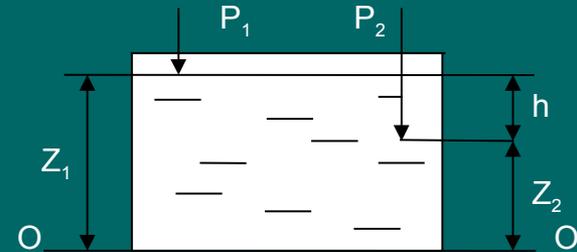
$\sigma_{пт}$ – предельное значения силы трения (Па), выше которого жидкость приходит в движение.

Гидростатика

Основное уравнение гидростатики Эйлера:

$$Z + \frac{P}{\rho g} = const$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \quad Z_1 - Z_2 = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho g}$$



Закон Паскаля

Обозначим $h = Z_1 - Z_2$ – глубина погружения.

Тогда из уравнения (2): $P_2 = P_1 + \rho g h$

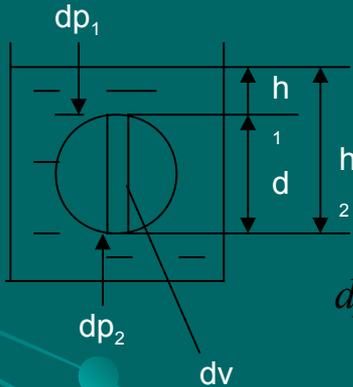
Давление на h глубине увеличивается на величину гидростатического давления $\rho g h$

Следствие: Давление создаваемое в любой точке передается всем точкам объема жидкости.

Гидростатика

Закон Архимеда:

На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила равная весу вытесненной воды.



$$P_b = \rho_{жс} g h$$

$$dp_1 = \rho_{жс} g h_1 dS$$

$$dp_2 = \rho_{жс} g h_2 dS$$

$$dp_{жс} = dp_2 - dp_1 = \rho_{жс} g h d S$$

Сила тяжести

$$p_T = \rho_T g V$$

Результирующая:

$$p_P = p_T - p_{жс} = (\rho_T - \rho_{жс}) g V$$

Если $\rho_T > \rho_{жс}$, то $(+ P_P)$ – тело тонет.

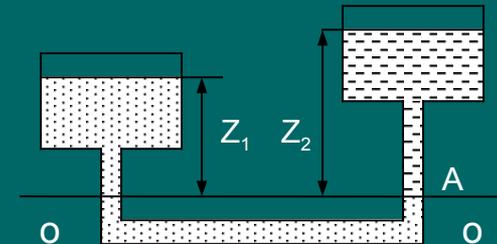
Если $\rho_T < \rho_{жс}$, то $(- P_P)$ – тело всплывает.

Сообщающиеся сосуды

Из уравнения Эйлера:

$$p + \rho g Z_1 = p + \rho g Z_2$$

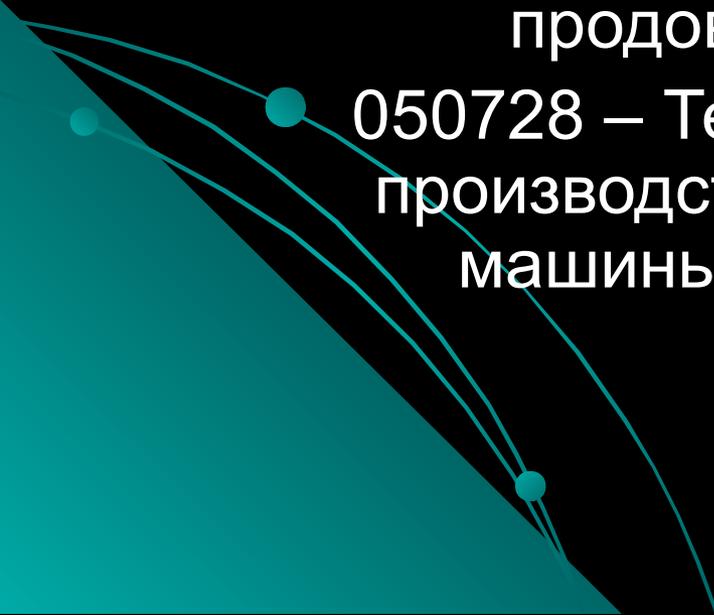
Отсюда: $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ если $\rho_1 = \rho_2$, то $Z_1 = Z_2$



«Процессы и аппараты пищевых производств»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

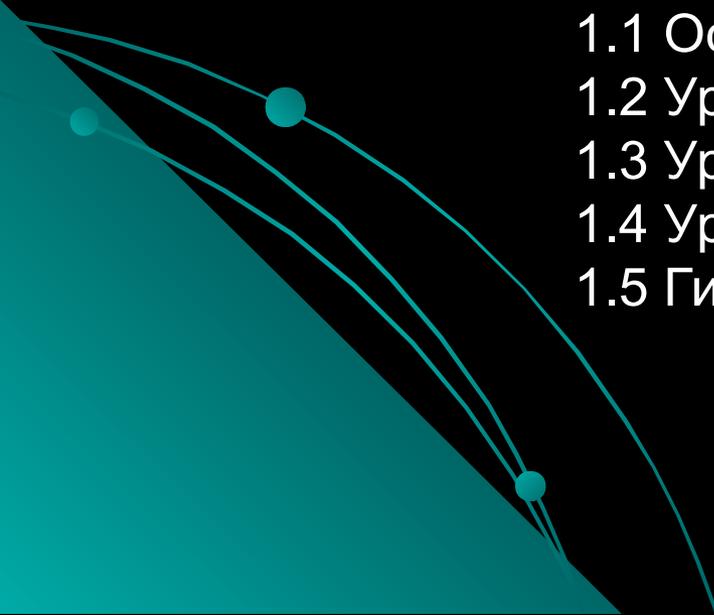
для специальностей 050727 – Технология продовольственных продуктов,
050728 – Технология перерабатывающих производств, 050724 – Технологические машины и оборудование, 050701 – Биотехнология



ЛЕКЦИЯ 3

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ

1. Гидродинамика

- 1.1 Основные определения
 - 1.2 Уравнение неразрывности
 - 1.3 Уравнения движения Эйлера
 - 1.4 Уравнение Бернулли
 - 1.5 Гидродинамическое подобие
- 

ГИДРОДИНАМИКА

- Изучает закономерности движения жидкостей.

- Основные понятия:

1. Объемный расход

$$V = v_{CP} S$$

2. Массовый расход

$$M = \rho v_{CP} S$$

3. Средняя скорость

$$v_{CP} = \frac{V}{S}$$

4. Гидравлический радиус канала

$$r_{ГИД} = \frac{S}{\Pi},$$

Π - смоченный периметр

5. Эквивалентный диаметр

$$d_{\text{Э}} = 4r_{ГИД}$$

ГИДРОДИНАМИКА

- **Режимы течения**

1. Ламинарный - слои жидкости движутся параллельно друг другу без ускорения или равноускоренно.
2. Турбулентный – слои перемешиваются, наблюдаются завихрения и пульсации.

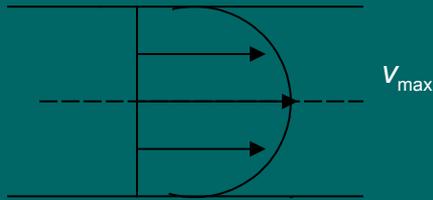
Режим движения определяют по числу Рейнольдса (критерий)

- Критерий Рейнольдса:
$$Re = \frac{v_{cp} d_{\text{э}}}{\nu} = \frac{v_{cp} d_{\text{э}} \rho}{\eta} ;$$

- $\nu = \rho \eta$ - коэффициент кинематической вязкости

- $Re_{кр} = 2320$ - критическое значение числа Рейнольдса для труб (указывает на переход от ламинарного к турбулентному режиму).

ГИДРОДИНАМИКА

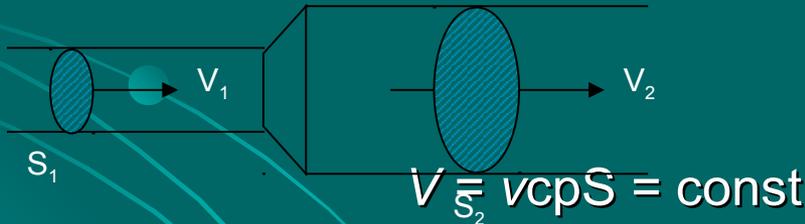


$$v_{\max} = (p_1 - p_2) \frac{R^2}{4\eta l}$$
$$v_r = v_{\max} \left(\frac{1 - \eta^2}{R^2} \right)$$

- скорость течения
жидкости в

произвольном радиусе

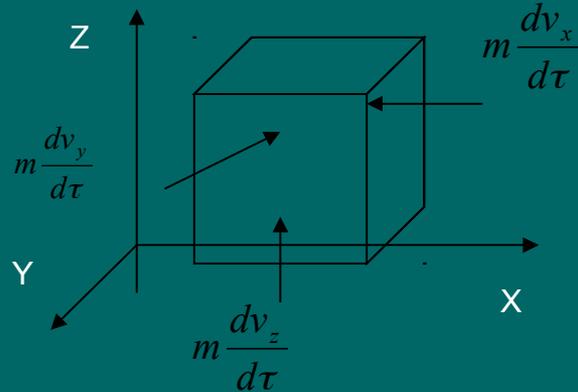
• Уравнение неразрывности



Объемный расход через любое сечение потока
жидкости величина постоянная.

ГИДРОДИНАМИКА

• Уравнения движения Эйлера



$\frac{dv}{d\tau}$ - ускорение

$m \frac{dv}{d\tau}$ - сила, вызывающая движение

$$m = \rho dV$$

На элементарный объем действуют силы давления и тяжести:

$$\left. \begin{aligned} & - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz \\ & - \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz \\ & - \left(\rho g + \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx dy dz \end{aligned} \right\}$$

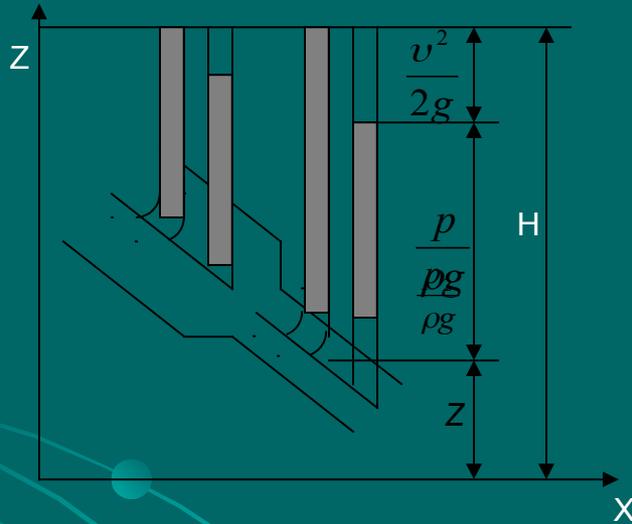
В равновесии приравниваем к силам вызывающим движение. После преобразования:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\rho dv_x}{d\tau} &= - \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\rho dv_y}{d\tau} &= - \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\rho dv_z}{d\tau} &= - \rho g - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\}$$

ГИДРОДИНАМИКА

Уравнение Бернулли

Сложив и продифференцировав (1), получаем уравнение Бернулли для идеальной жидкости (без трения):



$$Z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{const}$$

В соответствии с рисунком с учетом потерь напора на преодоление сил трения можно записать:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h$$

(для реальной жидкости)

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} - \text{полный напор } H$$

Z_2 – геометрический напор

$$\frac{p_2}{\rho g} - \text{статический (пьезометрический) напор}$$

$$\frac{v_2^2}{2g} - \text{скоростной (динамический) напор}$$

ГИДРОДИНАМИКА

h – потеря напора. Возникает за счет трения. Коэффициенты потери напора по длине трубопровода:

$$\varphi_{тр} = \frac{64}{Re} \quad \text{ламинарный} \quad , \quad \varphi_{тр} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{R}} \quad \text{турбулентный}$$

• Гидравлические сопротивления (трение и места возникновения):

1. Вводный и переходной патрубки
2. Сосуд большого объема
3. Сужение, расширение
4. Поворот трубы
5. Вентили, кран

• Энергетический смысл уравнения Бернулли:

H – полная энергия; $\frac{p}{\rho g} + Z$ – потенциальная энергия;

$\frac{v^2}{2g}$ – удельная кинетическая энергия

ГИДРОДИНАМИКА

- Основы гидродинамического подобия

- Геометрическое подобие $\Gamma_n = \frac{x_m}{x_n} = \frac{h_m}{h_n} = \frac{l_m}{l_n}$

- Гидродинамическое подобие – подобны поля физических величин характеризующих явление

1. критерий Ньютона $Ne = \frac{Fl}{Mv^2}$ Ne_m – модель, Ne_n – натура.

2. Критерий Фруда: $F_2 = \frac{gl}{v^2}$ - соотношение силы тяжести и инерции;

3. Критерий Эйлера: $A_u = \frac{P}{\rho v^2}$ - соотношение силы давления и инерции;

4. Критерий Галлилея: $G_a = \frac{gl^3}{v^2}$ - соотношение силы вязкого трения и тяжести;

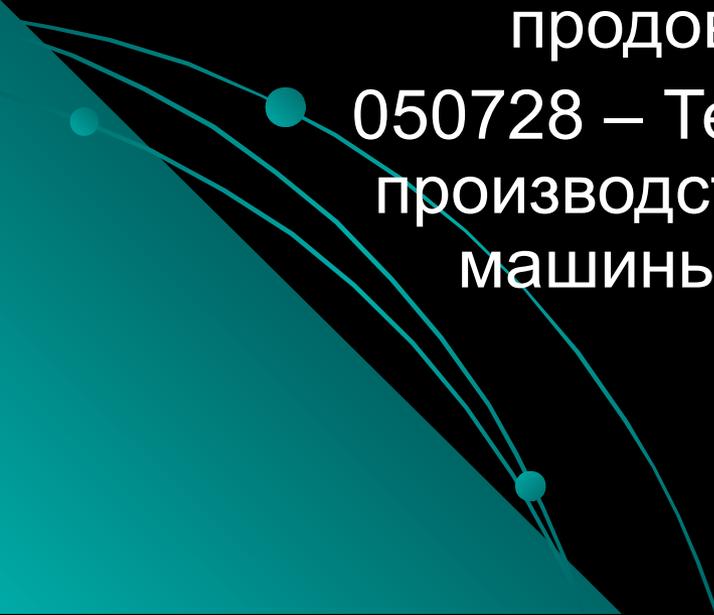
5. Критерий Грасгофа: $G_2 = \frac{gl^3 \beta_t \Delta t}{v^2}$ - соотношение силы вязкого трения и подъемной силы;

6. Критерий гомохронности: $H_o = \frac{v\tau}{l}$ - неустановившийся характер движения.

«Процессы и аппараты пищевых производств»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

для специальностей 050727 – Технология продовольственных продуктов,
050728 – Технология перерабатывающих производств, 050724 – Технологические машины и оборудование, 050701 – Биотехнология



ЛЕКЦИЯ 4

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ

1. Гидродинамика

1.6 Расчет диаметра трубопровода

1.7 Истечение жидкостей

1.8 Понятие о реологии



ГИДРОДИНАМИКА

● Расчет диаметров трубопроводов

Важно при проектировании

● Уравнение объемного расхода:

$$V = v_{cp} S = v_{cp} \frac{\pi d^2}{4}$$

● Отсюда определяют диаметр:

$$d = 2 \sqrt{\frac{V}{\pi v_{cp}}}$$

● Рекомендуемые значения средней скорости течения:

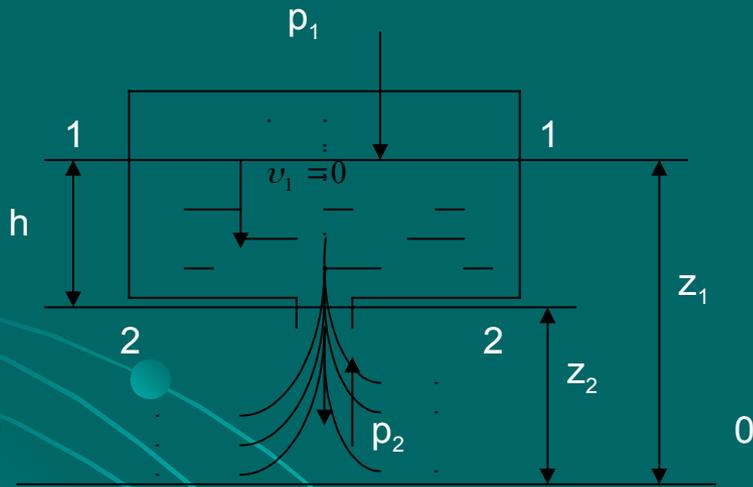
- 1 ÷ 3 м/с (для капельных жидкостей)
- 8 – 15 м/с (газ, воздух при небольшом давлении)
- 15 – 20 м/с (газ, воздух при высоком давлении)
- 20 – 30 м/с (насыщенный пар)
- 30 – 50 м/с (перегретый пар)

ГИДРОДИНАМИКА

• Истечение жидкости

Используем уравнение Бернулли. Сначала исследуем истечение при постоянном уровне:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$



1) При атмосферном давлении $p_1=p_2$ (в сечении 1-1 скорость), тогда:

$$z_1 - z_2 = h = \frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_e = v_2 = \varphi_e \sqrt{2gh}$$

$\varphi < 1$ коэффициент истечения;

2) При избыточном давлении

$$\frac{v_2^2}{2g} = h + \frac{p_1 - p_2}{\rho g}$$

$$v_2 = v_e = \varphi \sqrt{2gh + \frac{(p_1 - p_2)}{\rho g}}$$

ГИДРОДИНАМИКА

истечение при снижающемся уровне:

Большее значение имеет время истечения, а не скорость.

С учетом полученных зависимостей, при убывающем уровне:

1. Для открытого резервуара:

$$\tau = \frac{2V}{S_2 \varphi_e \sqrt{2gH}}$$

2. При избыточном давлении:

$$\tau = \frac{V}{\varphi_e S \sqrt{2gH_e}}$$

Для получения струй применяются насадки ($l/d=3 \div 5$)



1 - Цилиндрические ($\varphi=0,8$), 2 - Конические: А - сужающиеся ($\varphi=0,9-0,95$, для дальнобойной струи), Б - расширяющиеся ($\varphi=0,5-0,55$, для большого расхода при малой кинетической энергии), 3 - Коноидальные ($\varphi=0,97$).

Понятие о реологии

- Неньютоновские жидкости (3 основные группы):
 1. Скорость сдвига зависит от направления и не зависит от продолжительности воздействия – вязкие:
 - а) бингамовские $\sigma > \sigma_{кр}$ – коэффициент пластической вязкости (густые суспензии, пасты);
 - б) псевдопластичные малые значения $\sigma_{кр}$ (кажущаяся вязкость η_k), который уменьшается с увеличением градиента скорости (суспензии с асимметричными частицами);
 - в) дилантные - η_k растет с увеличением градиента скорости (суспензии с большим количеством твердой фазы);
 2. Напряжение сдвига зависит от градиента скорости и изменяется во времени:
 - а) тиксотропные – со временем падает напряжение сдвига (разрушается структура);
 - б) реопектические – со временем растет напряжение сдвига.
 3. Вязкоупругие (максвелловские) – текут при приложении напряжения, а после снятия восстанавливают частично форму (тесто).

При расчете трубопроводов определяют объемный расход:

$$V = \frac{M}{P}$$

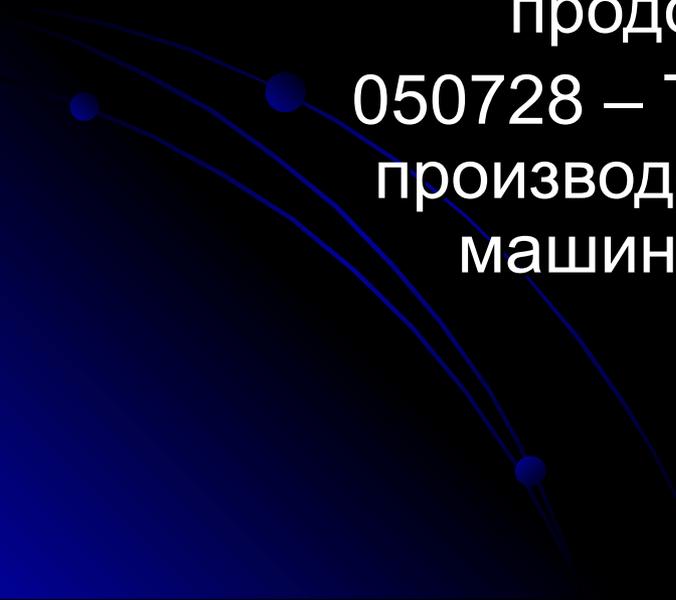
Затем - диаметр:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi v}}$$

«Процессы и аппараты пищевых производств»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

для специальностей 050727 – Технология продовольственных продуктов,
050728 – Технология перерабатывающих производств, 050724 – Технологические машины и оборудование, 050701 – Биотехнология



ЛЕКЦИЯ 5

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ

1. Гидромашины



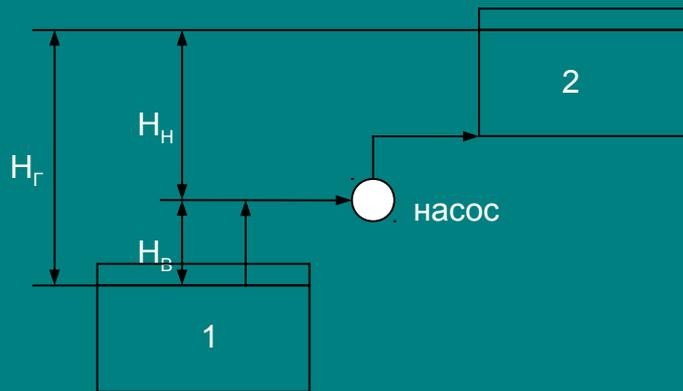
ГИДРОМАШИНЫ

Технологические процессы требуют перемешивание, перекачивание, подвод и отвод жидкостей и газов.

Для жидкостей – насосы; Для газов – компрессорные машины.

1. Насосы

- Определение напора, создаваемого насосом



Если давление в резервуарах различно:

$$H_{\Pi} = H_B + H_H + H_{ГСВ} + H_{ГСН} + \frac{(P_1 - P_2)}{\rho g}$$

Теоретическая высота всасывания может быть равна атмосферному давлению, однако сильно зависит от температуры (закипание).

Так при $t = 0^{\circ}\text{C} \rightarrow H_B = 9 \text{ м}$, а при $t = 65^{\circ}\text{C} \rightarrow H_B = 0$

ГИДРОМАШИНЫ

Насосы делятся на:

- 1) поршневые (плунжерные): простого и двойного действия, многоплунжерные
- 2) центробежные: одно- и многоступенчатые
- 3) роторные: шестеренчатые, шиберные
- 4) мембранные
- 5) винтовые
- 6) струйные

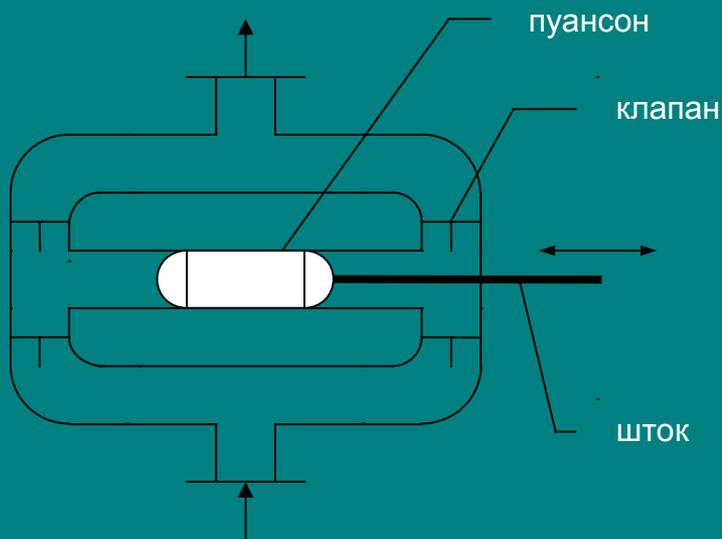
Компрессорные машины

Применяются для перемещения газов и делятся в зависимости от соотношения давлений на выходе P_2 и входе P_1 на:

- 1) вентиляторы: $P_2 / P_1 < 1,1$
- 2) газодувки: $P_2 / P_1 < 3$
- 3) компрессоры: $P_2 / P_1 > 3$

ГИДРОМАШИНЫ

поршневые (плунжерные): простого и двойного действия, многоплунжерные



производительность:

$\eta_{г\ddot{o}}=0,85 - 0,95$; S – площадь поршня, l – ход поршня, n – частота вращения вала, z – число плунжеров.

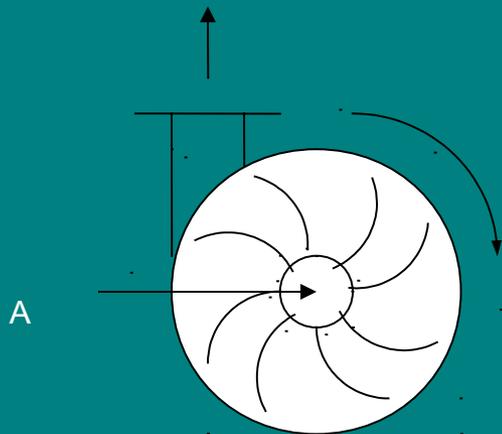
Развивает высокое давление.
Недостаток – пульсирующая подача.

Для сглаживания пульсации – двойного действия и многоплунжерные.

Плунжерный насос
двойного действия

ГИДРОМАШИНЫ

центробежные: одно- и многоступенчатые – для перемешивания маловязких жидкостей. Перед пуском должен быть заполнен, поэтому устанавливается ниже уровня жидкости



$$H_{\Pi} = \frac{\pi^2 n^2 D^2}{g}$$

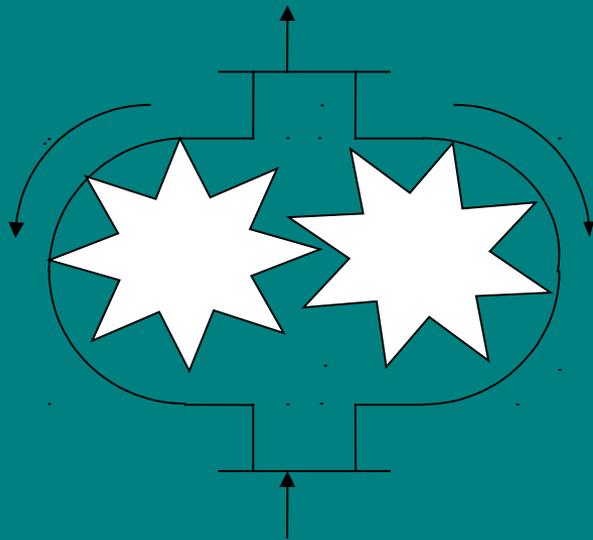
$$N = \frac{VH_{\Pi} \rho_{\text{ж}} g}{10^3 \eta_{\text{вб}}}$$

ГИДРОМАШИНЫ

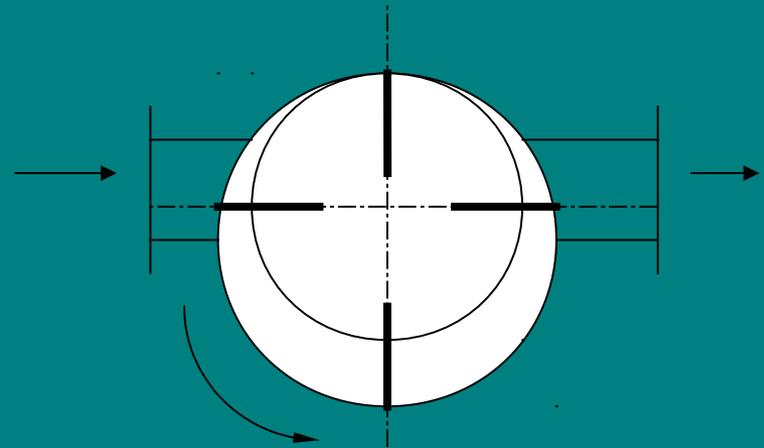
роторные: шестеренчатые, шиберные – для вязких жидкостей и паст.

$$V = 3600qzn\eta_{\text{гв}}$$

z – число зубьев, q – объем межзубьевого пространства.



А - Шестеренчатый насос



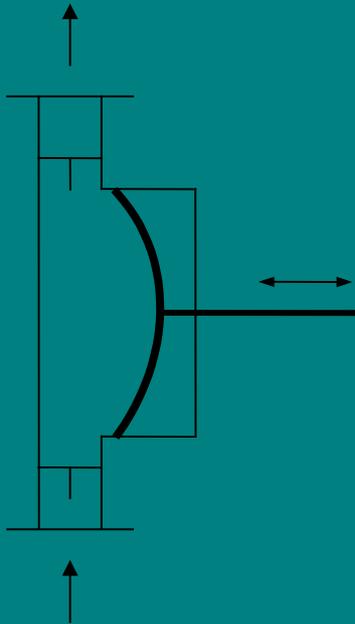
Б - Шиберный насос

ГИДРОМАШИНЫ

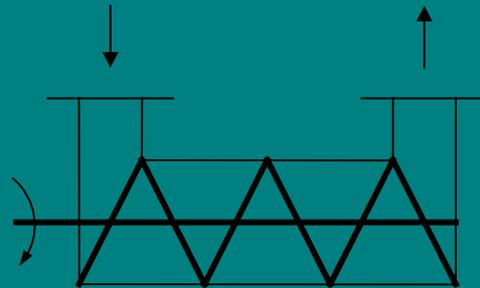
4) мембранные – для структурированных жидкостных систем (фарш, творог).

5) винтовые – для высоковязких систем

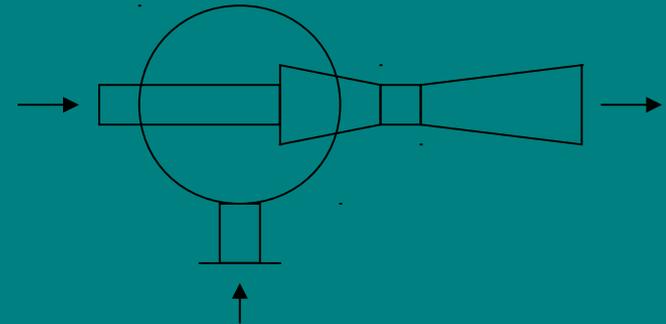
6) струйные – не имеют движущихся частей, основан на инжекционном принципе.



А - Мембранный



Б - Винтовой насос

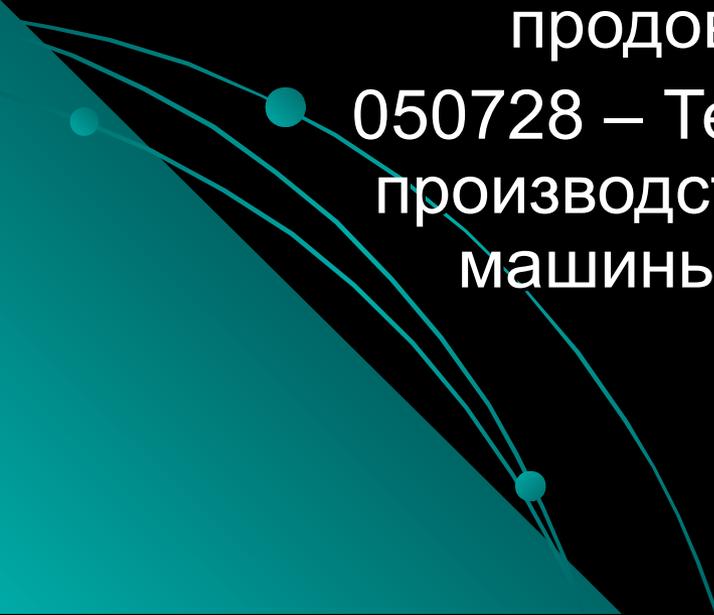


В - Струйный насос

«Процессы и аппараты пищевых производств»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

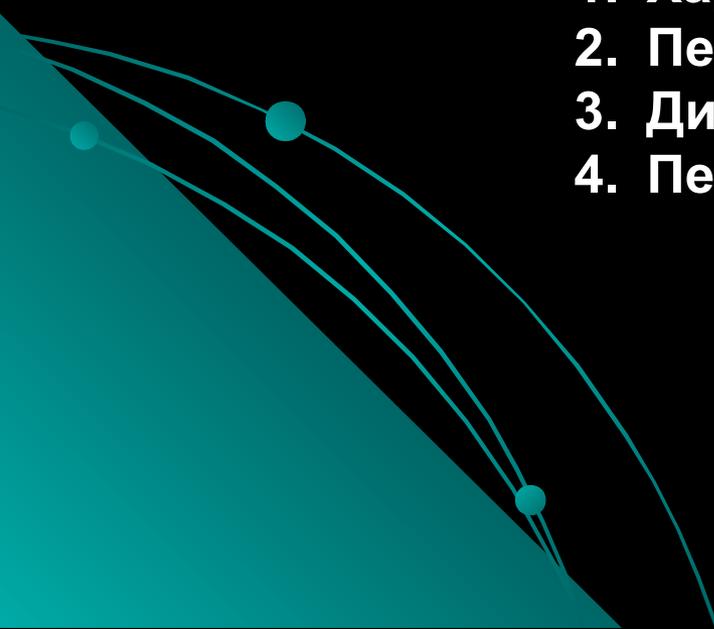
для специальностей 050727 – Технология продовольственных продуктов,
050728 – Технология перерабатывающих производств, 050724 – Технологические машины и оборудование, 050701 – Биотехнология



ЛЕКЦИЯ 6

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

1. Характеристика дисперсных систем
2. Перемешивание
3. Диспергирование
4. Пенообразование и псевдооживление



Характеристика дисперсных систем

Все жидкостные системы делятся на гомо- и гетерогенные.

Гомогенная – это чистая жидкость или раствор.

Гетерогенная (дисперсные) – состоят не менее, чем из двух компонентов или фаз. Фазы делятся на:

- дисперсную (внутренняя) – мелкие частицы вещества,
- дисперсионную среду (внешняя) – жидкость или газ.

Гетерогенные системы могут быть:

- одно- и многокомпонентными (в молоке две дисперсные фазы – жир и белок).
- монодисперсные (если у частиц одинаковые размеры) и полидисперсные (разные).

В зависимости от агрегатного состояния фаз гетерогенные системы делятся:

- 1) эмульсии – жидкость плюс жидкость (молоко);
- 2) суспензии – жидкость плюс твердое вещество (соусы);
- 3) пены – жидкость плюс пузырьки газа (кремы);
- 4) аэрозоли – газ плюс твердые вещества (дым, пыль), газ плюс жидкость (туман).

Характеристика дисперсных систем

Характеристики систем

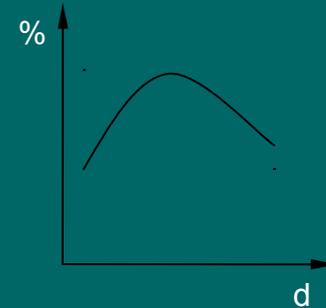
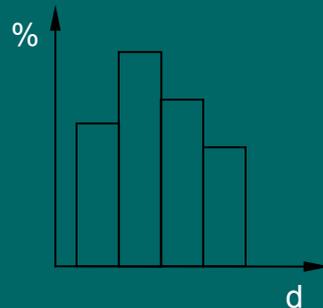
1. Дисперсность системы: $\Delta = \frac{1}{d_{\text{нб}}}$
2. Удельная поверхность частиц: $C = \frac{S}{V} = \frac{6}{d_{\text{cp}}}$
3. Средний диаметр: $d_{\text{нб}} = \sqrt[3]{\frac{d_1^3 n_1 + d_2^3 n_2 + \dots}{n_1 + n_2 + \dots}}$

Для характеристики распределения частиц используют табличные, графические и математические методы.

Размер, мм	Содержание, %
1 – 3	30
3 – 5	40
5 – 7	25
7 – 9	5
всего	100

Например, распределение частиц в молоке описывается зависимостью:

$$N_i = 1 - e^{-\frac{d_i}{d_0}}$$



Содержание частиц заданного размера рассчитывают по массе (1), объему (2), количеству (3):

$$1) \quad W(g) = \frac{G_i}{G} 100; \quad 2) \quad W(v) = \frac{V_i}{V} 100; \quad 3) \quad W(n) = \frac{N_i}{N}$$

Перемешивание дисперсных систем

Перемешивание необходимо для получения однородной или неоднородной жидкой системы.

Перемешивание делится:

- 1) механическое – в мешалках
- 2) пневматические – через слой жидкости прокачивают воздух, применяются при замачивании и мойке зерна и крупы;
- 3) циркуляционные – для получения эмульсий и суспензий;
- 4) в потоке при турбулизации или турбулизационные – когда жидкости хорошо растворяются друг в друге.

$$Re = \frac{nd^2}{\nu}$$

$$Fr = \frac{n^2 d}{g}$$

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho(nd)^2} = \frac{N}{\rho n^3 d^5}$$

Оценочные
характеристики Интенсивность
перемешивания:

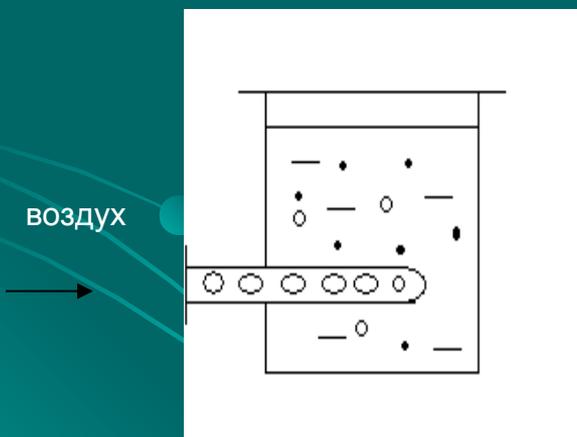
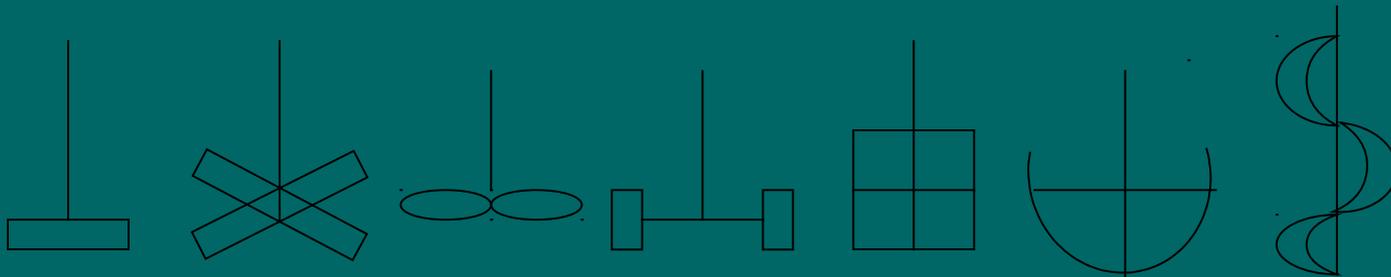
$$K_{II} = \frac{y}{\tau} \quad (с-1)$$

Степень
перемешивания:

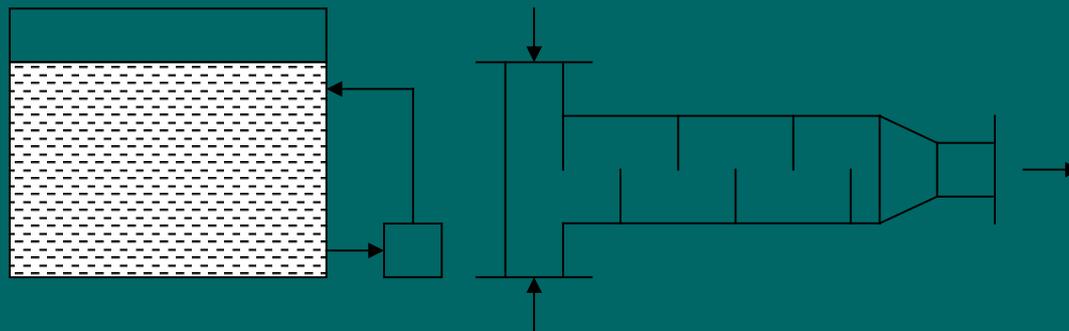
$$y = \frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{\Sigma n} \quad (\%)$$

Где n – число проб, X –
относительная концентрация
компонентов в пробе.

Перемешивание дисперсных систем



А



Б

В

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ

Диспергирование

Диспергирование – это измельчение жидкостей, газов, твердых веществ в жидкостях или жидкостей и твердых веществ в газах. Для устойчивости добавляют поверхностно активные вещества (ПАВ).

Диспергирование делится:

1. Эмульгирование (майонез получают в центробежном эмульсоре, размер жировых частиц при этом составляет 8 – 10 мкм).
2. Гомогенизация – дальнейшее диспергирование эмульсий (молоко, сливки получают в гомогенизаторе, размер частиц 1 – 2 мкм и менее).
3. Распыление жидкостей в газовую среду:
 - 3.1. Гидравлическое;
 - 3.2. Механическое;
 - 3.3. Пневматическое;
 - 3.4. Электрическое;
 - 3.5. Ультразвуковое;
 - 3.6. Пульсационное.

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ

При гомогенизации средний диаметр частиц можно рассчитывать по формуле:

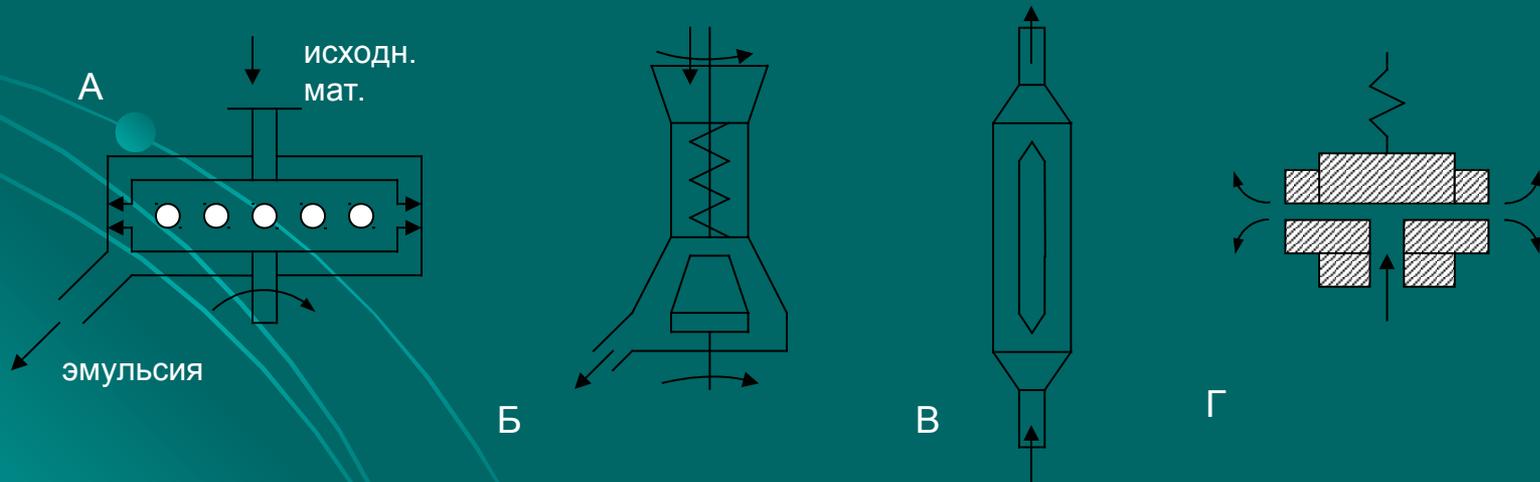
$$d_{CP} = 3,8 \sqrt{p}$$

где давление в МПа

При распыливании жидкостей в газовую фазу определяют количество частиц (1) и их удельную поверхность (2):

$$1) N = \frac{6G}{\rho \pi d_{CP}^3}$$

$$2) S_v = \frac{6G}{\rho d_{CP}}$$



Пенообразование

Пенообразованием получают коктейли, кремы, суфле, мороженое. Для придания устойчивости пены используют ПАВ – яичные и молочные белки, агар-агар, желатин.

Газосодержание пены:

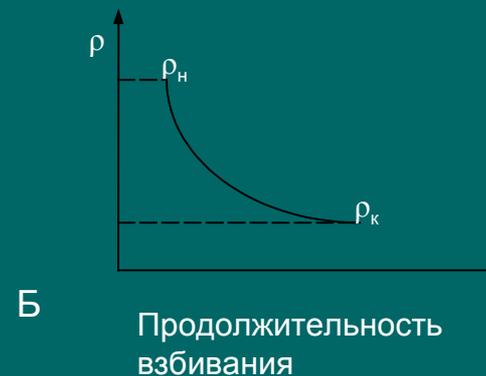
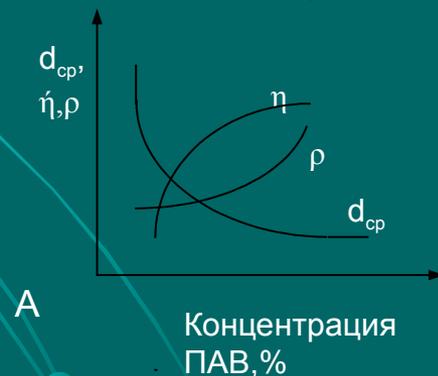
$$E = \frac{V_{\Gamma}}{V_{\Pi}} = \frac{\pi N d_{cp}^3}{6V_{\Pi}}$$

где N – количество пузырей.

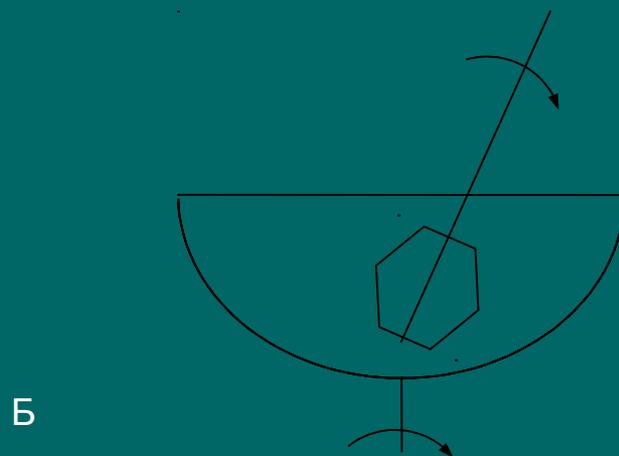
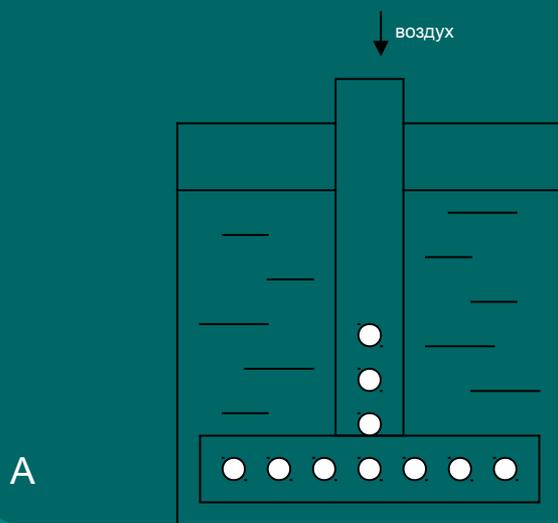
Удельная поверхность контакта газообразных и жидких фаз:

$$S_o = \frac{\pi N d_{cp}}{V_{\Pi}}$$

При пенообразовании плотность и вязкость пены зависят от размера пузырьков (3.5А), который определяется составом и концентрацией ПАВ. При возрастании концентрации ПАВ размер пузырьков уменьшается (3.5Б), а вязкость и плотность пены увеличиваются. При взбивании плотность продукта уменьшается. Обычно $\rho_{\Pi} = 1.5 - 3.0$



Пенообразование



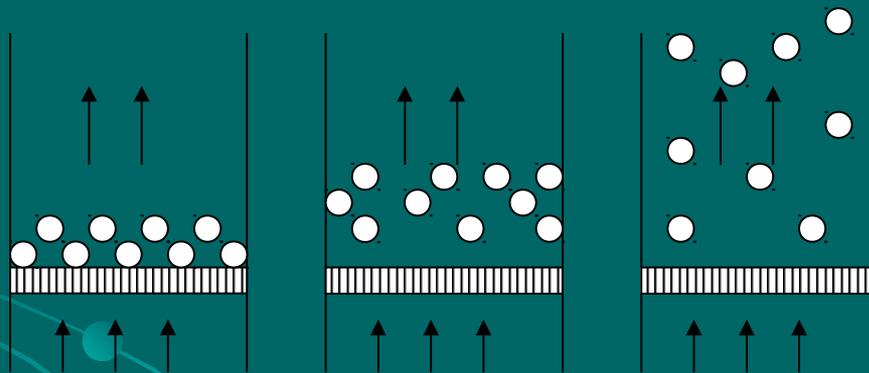
А – пневматический, Б – взбивальный аппараты

Аппараты для пенообразования

Псевдоожижение

Процесс псевдоожижения (кипящий слой) применяется при сушке сыпучих материалов. Например, зерна.

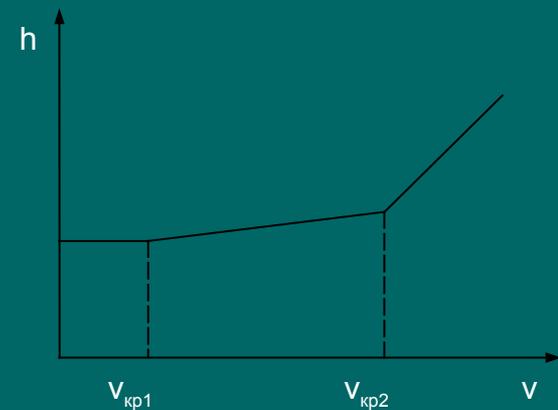
Воздух с определенной скоростью, обеспечивающей нахождение материала во взвешенном состоянии, подается через отверстия в поде камеры



неподвижный
слой (КС)

кипящий
слой

унос



Псевдоожжение

Если скорость подачи воздуха меньше первой критической $v_{кр1}$, то слой материала неподвижен, если больше $v_{кр2}$, то материал уносится из камеры. Процесс проводят при скорости v_0 , имеющей значение между первой и второй критической, которую определяют из уравнения:

$$v_0 = K_p \cdot v_{кр1}, \quad \text{где } K_p \geq 2 \text{ – число псевдоожжения}$$

Первую критическую скорость находят по уравнению:

$$v_{кр1} = f(\text{Re}, \text{Ar})$$

$$1) \text{Ar} = gl^3(\rho_M - \rho_G)/\nu^2 \rho_G$$

$$2) \text{Re} = \frac{\text{Ar}}{1400 + 5,22\sqrt{\text{Ar}}}$$

$$3) v_{кр1} = \frac{\text{Re}\nu}{d}$$

«Процессы и аппараты пищевых производств»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

для специальностей 050727 – Технология продовольственных продуктов, 050728 – Технология перерабатывающих производств, 050724 – Технологические машины и оборудование, 050701 – Биотехнология

ЛЕКЦИЯ 7

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

1. Разделение дисперсных систем
2. Разделение в поле силы тяжести
3. Разделение в поле центробежных сил

Разделение гетерогенных систем

Разделение гетерогенных систем необходимо, когда нужно осветлить раствор.

- Делится:
 1. В поле силы тяжести.
 2. В поле центробежных сил.
 3. Фильтрация.
 4. Мембранные методы разделения.

- **В поле силы тяжести**

Критерий Рейнольдса: $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$

Если $Re \leq 2$ – ламинарный

Если $Re > 300$ – турбулентный.

Разделение в поле силы тяжести происходит под действием силы (закон Архимеда):

$$F_p = F_u - F_{жс} = \frac{\pi d^3}{6} g (\rho_u - \rho_{жс})$$

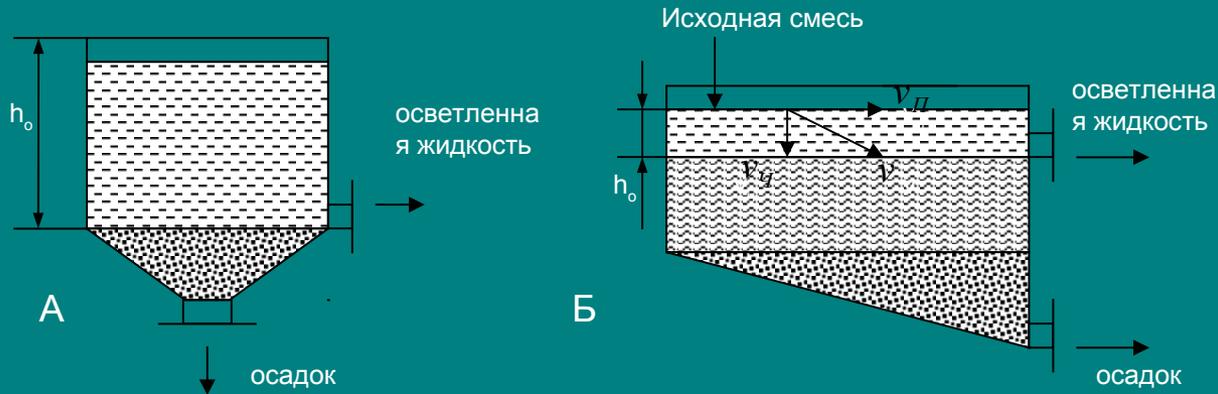
Осаждение происходит при положительном F_p и всплытие при отрицательном F_p .

Сила сопротивления среды (Стокса): $F_c = 3\pi d v_u \eta$

Скорость осаждения частицы: $v_x = \frac{gd^2(\rho_u - \rho_{жс})}{18\eta}$

Разделение гетерогенных систем

Процессы отстаивания и осаждения бывают периодическими и непрерывными



$\tau_{\text{оч}}$ - время
осаждения

$\tau_{\text{п}}$ - время переноса,

$$\tau_{\text{п}} = \frac{l}{v_{\text{п}}} = \tau_{\text{ч}} = \frac{h_o}{v_{\text{ч}}}$$

Расход: $M_o = V_{\text{п}} S = V_{\text{п}} b h_o = V_{\text{ч}} l b$

Материальный баланс: $M_{\text{ч}} O_{\text{ч}} = M_{\text{ож}} O_{\text{ож}} + M_{\text{ос}} O_{\text{ос}}$

Где M – количество жидкости в исходном, осветленном, осадке; O – количество дисперсной фазы;

h_o, b, l соответственно высота осветленного слоя, ширина и длина аппарата.

Разделение гетерогенных систем

В поле центробежных сил

Разделение происходит под действием центробежных сил. Интенсивность центрифугирования определяют критерием Фруда:

$$Fr = \frac{V^2}{gl} = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{4\pi^2 n^2 R}{g}$$

$Fr > 3000$ необходимы
сверхцентрифуги.

На частицу действуют силы:

1) Центробежная

$$F_{Ц} = \frac{\rho_{ч} \omega^2}{R} \left(\frac{\pi d^2}{6} \right)$$

2) Архимеда

$$F_A = \frac{\rho_{ж} \omega^2}{R} \left(\frac{\pi d^2}{6} \right)$$

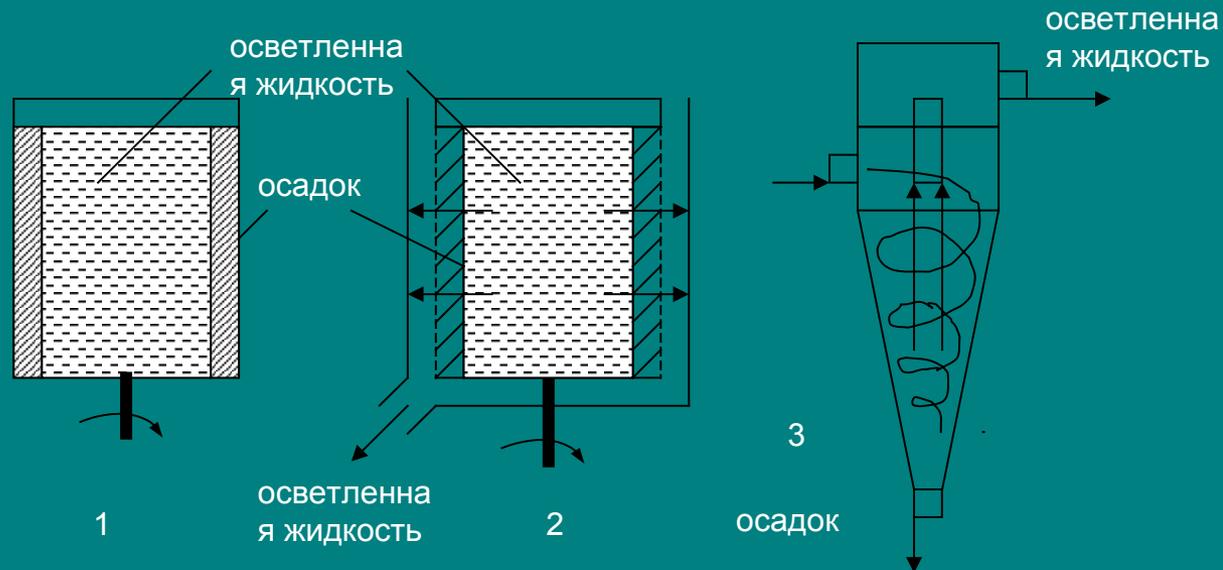
3) Сопротивления среды (Стокса)

$$F_C = 3\pi d v_{ч} \eta$$

Решая совместно уравнения, находят скорость осаждения частицы:

$$v_{ч} = \frac{d^2 \omega^2 R (\rho_{ч} - \rho_{ж})}{18\eta} = \frac{2v^2 \pi^2 n^2 R (\rho_{ч} - \rho_{ж})}{9\eta}$$

Разделение гетерогенных систем



Показатели процесса

Фактор разделения: $K_p = n^2 D$ (м/с²)

Индекс
производительности:

$\Sigma = SK_p$ (м/с²), S – поверхность осаждения.

Производительность:

$M = \varphi \tau \Sigma$ (м³/с), где φ – коэффициент эффективности (0,7 – 0,9).

«Процессы и аппараты пищевых производств»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

для специальностей 050727 – Технология продовольственных продуктов, 050728 – Технология перерабатывающих производств, 050724 – Технологические машины и оборудование, 050701 – Биотехнология

ЛЕКЦИЯ 8

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

1. Фильтрация
2. Мембранные методы разделения
3. Газоочистка

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

■ Фильтрация

Процесс выделения твердой фазы из гетерогенных систем за счет пропускания через пористую перегородку (фильтр).

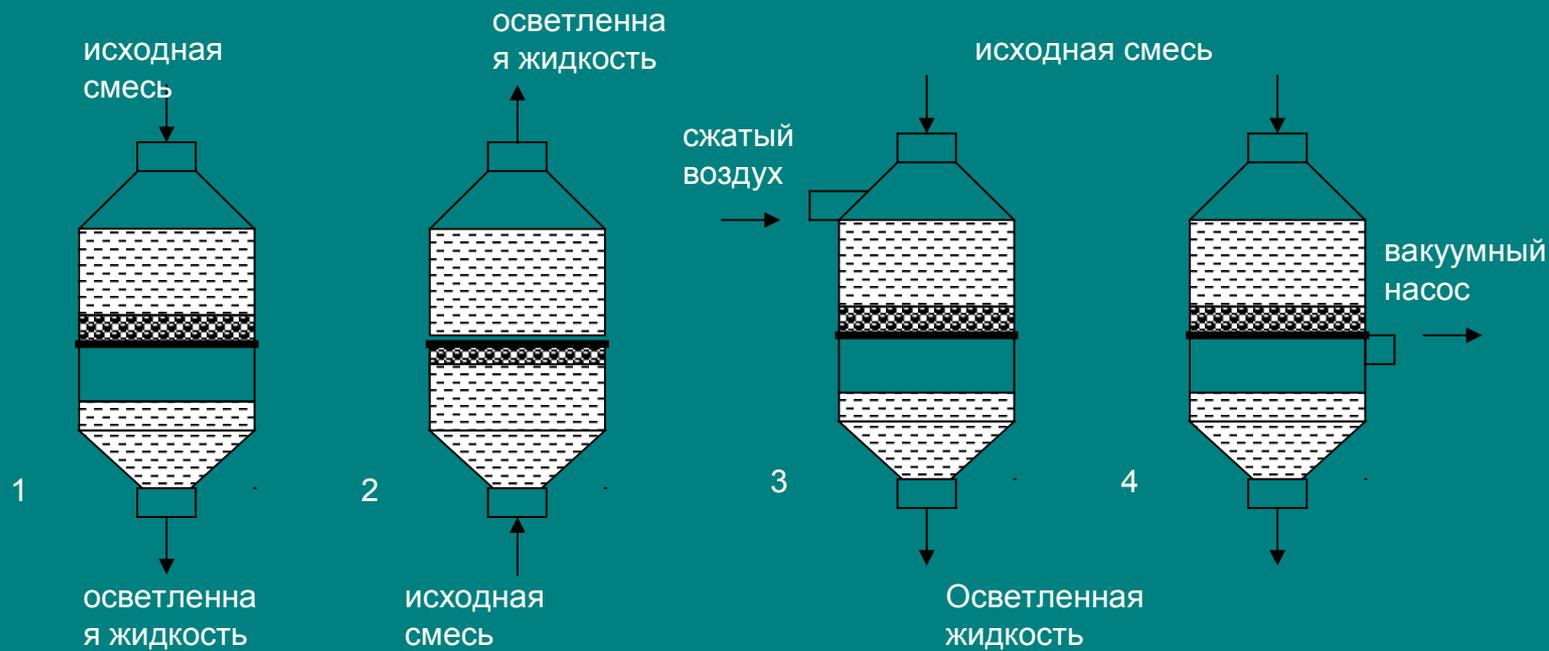
Различают следующие виды фильтрации:

1. С образованием осадка (не забивает поры фильтра).
2. С закупориванием пор (без осадка).
3. Промежуточный (с образованием осадка и закупориванием пор).

При этом направления силы тяжести и движения жидкости могут быть одинаковыми (рисунок 1), а могут быть противоположными (рисунок 2). Второй вариант лучше, т.к. поры меньше забиваются.

Движущая сила (Δp) может создаваться за счет избыточного давления (3) над фильтром (сжатый воздух, насос) или разрежения рисунок (4) за фильтром (вакуумный насос).

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ



Скорость фильтрация:

$$V_{\phi} = \frac{dV}{Sd\tau} = \frac{\Delta p}{\eta(R_{\Pi} + R_o)}$$

Где R_{Π} – сопротивление перегородки, R_o – сопротивление осадка.

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

▪ Мембранные методы разделения

Можно в некоторой степени отнести к фильтрационным методам.

Относят:

1. Обратный осмос.
2. Ультрафильтрация.
3. Микрофильтрация.

В качестве фильтрующих перегородок используют полупроницаемые мембраны (молекулярно-ситовые): пористые, непористые, гладкие.

Размер пор у пористых мембран 0,5 мкм ($10^{-1} - 10^{-10}$ м) – пленки на ацетатцеллюлозной основе. Характеризуются – проницаемостью, селективностью.

Селективность – способность избирательно пропускать те или иные вещества.

$$\varphi = \frac{(X_1 - X_2) \cdot 100}{X_1}$$

где X – концентрация вещества в исходной системе и фильтрате.

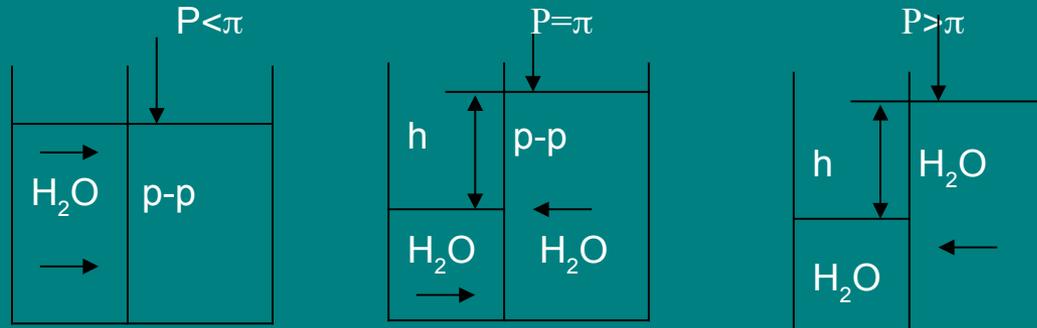
Проницаемость, удельная производительность:

$$G = \frac{V}{S\tau}$$

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Ультрафильтрация и обратный осмос

Осмоз – вода проходит через мембрану и разбавляет раствор до равновесного состояния.



π - осмотическое давление, p - гидростатическое давление.

$$\pi = \frac{P_{\pi}}{S} = \rho \cdot g \cdot h$$

P_{π} – сила гидростатического давления, создаваемая столбом жидкости высотой h .

Теоретически (уравнение Вант-Гоффа):

$$\pi = \frac{iRTx}{M}$$

Где i – постоянная Вант-Гоффа, M – масса, кг.

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Движущей силой процесса является:

$$P = P_{\text{изб}} - \pi$$

$P_{\text{изб}}$ – избыточное давление над

раствором.

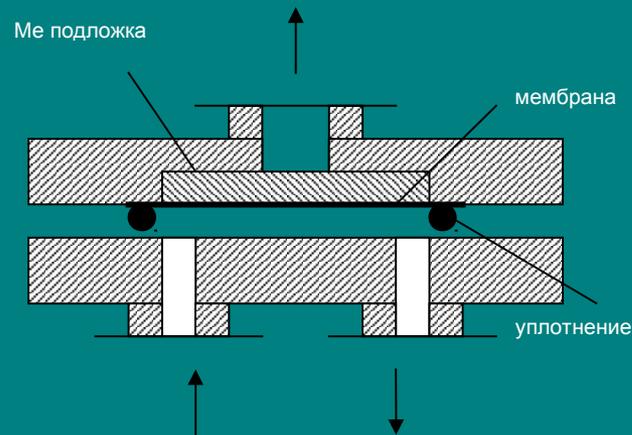
В осмотическом процессе:

$$\frac{P_{\text{изб}}}{\pi} = 2 \div 3$$

Ультрафильтрация - разделение высокомолекулярных соединений.

Избыточное давление при ультрафильтрации:

$$P_{\text{изб}} = 0,3 \div 1 \text{ МПа}$$



ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

■ Газоочистка

Разделение неоднородных газовых систем (газоочистка) – выделение из аэрозолей частиц твердой и жидкой фазы.

Цель: технологическая и защитная.

Технологическая – при сушке отделение сушильного агента (воздух), аэрация в биохимических процессах, пневмотранспорт.

Защитная – очистка воздуха от вредных примесей.

Различают 5 способов разделения и очистки:

1.Осаждение под действием силы тяжести (крупные частицы больше 100мкм);

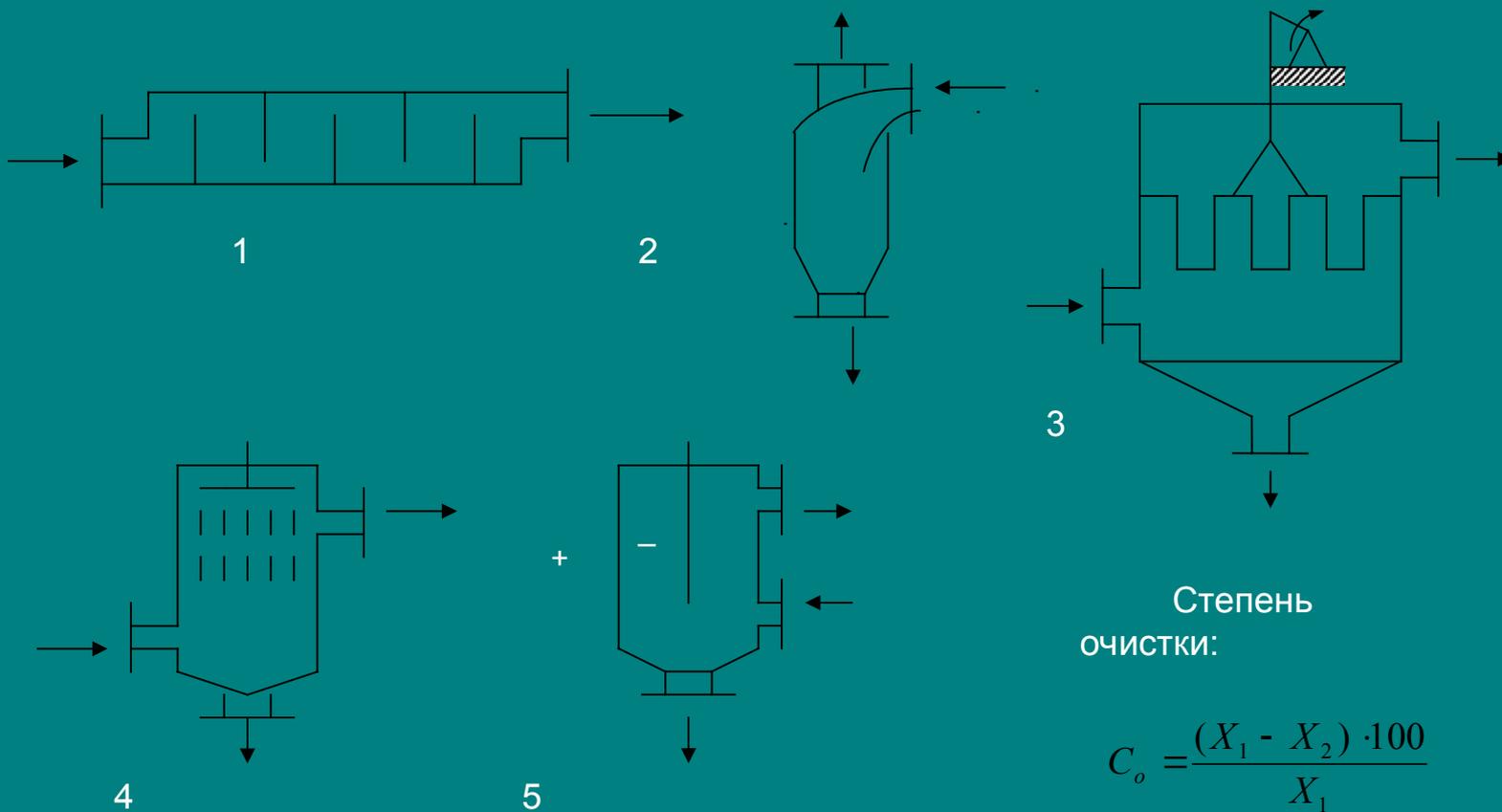
2.Осаждение под действием центробежных сил (частицы больше 10 мкм);

3.Фильтрование (частицы меньше 10 мкм, пыль). От микробиологических, бактерицидных веществ.

4.Мокрая очистка (тонкодисперсные системы 5-30 и 2-5 мкм);

5.Осаждение под действием электростатических сил (почти не применяется в пищевой промышленности, так как трудно обеспечить безопасность).

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ



Где X_1 – концентрация в аэрозоли, X_2 – концентрация в очищенном газе.

«Процессы и аппараты пищевых производств»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

для специальностей 050727 – Технология продовольственных продуктов,
050728 – Технология перерабатывающих производств, 050724 – Технологические машины и оборудование, 050701 – Биотехнология

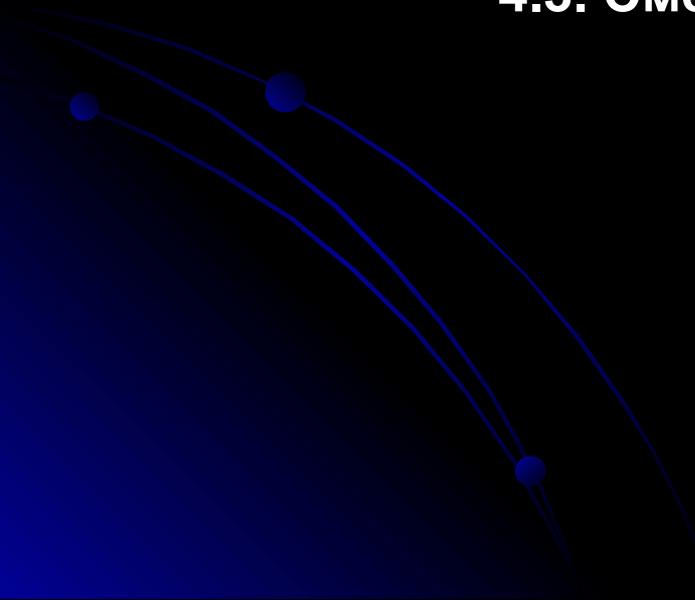
ЛЕКЦИЯ 9

4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

4.1. Измельчение

4.2. Прессование

4.3. Смешивание и сортировка



МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

К механическим процессам относятся: измельчение, прессование, смешивание и сортировка сыпучих материалов.

4.1 Измельчение

Измельчение – деление твердого вещества материала на части.

В зависимости от размеров исходного и измельченного кусков различают:

1. Дробление, которое делится:

	дисх, мм	дкон, мм
1.1 Крупное	1000	250
1.2 Среднее	250	20
1.3 Мелкое	20	1–5

2. Помол, который подразделяют:

	дисх, мм	дкон, мм
2.1 Грубый	1–5	0,1 – 0,04
2.2 Средний	0,1 – 0,04	0,015–0,05
2.3 Тонкий	0,1 – 0,04	0,005 – 0,001
2.4 Коллоидный	0,1	< 0,001

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Основной показатель - степень измельчения, которую подразделяют:

1. Линейная $i = d_H / d_K$

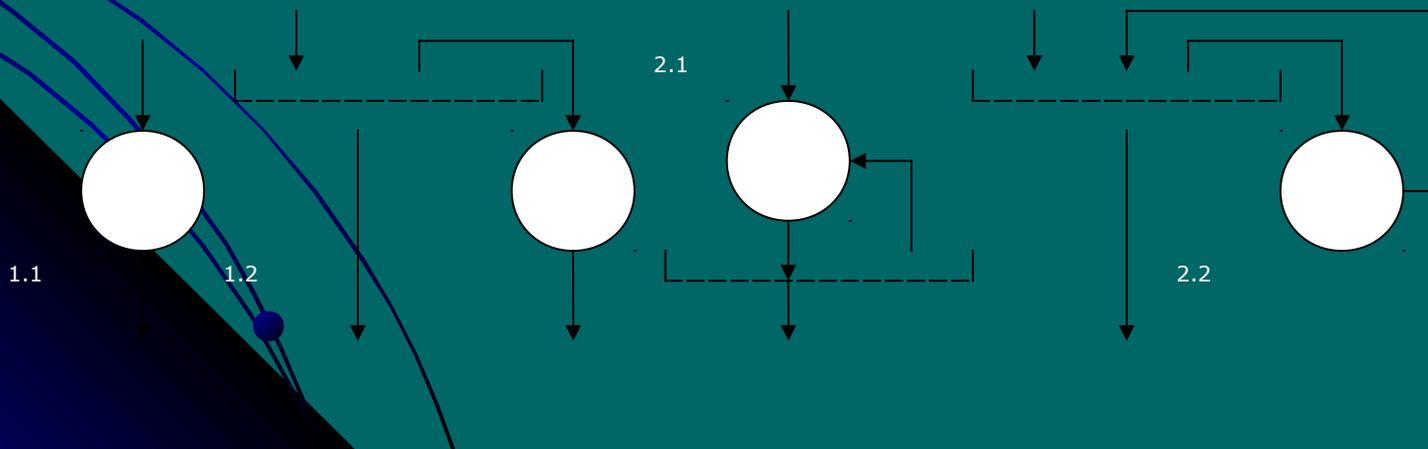
2. Объемная $a = i^3$

d_H, d_K – начальный и конечный диаметр кусков материала, если куски имеют не шарообразную форму, то считают средний диаметр: $d_{cp} = \sqrt[3]{lbh}$

Циклы измельчения делятся:

1. Открытые: 1.1 простой; 1.2 с предварительным сортированием.

2. Замкнутые: 2.1 с предварительным сортированием и проверкой;
2.2 с поверочным сортированием.



МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Способы измельчения:

Раздавливание, материал деформируется по всему объему.

Раскалывание, материал контактирует с клинообразным рабочим элементом.

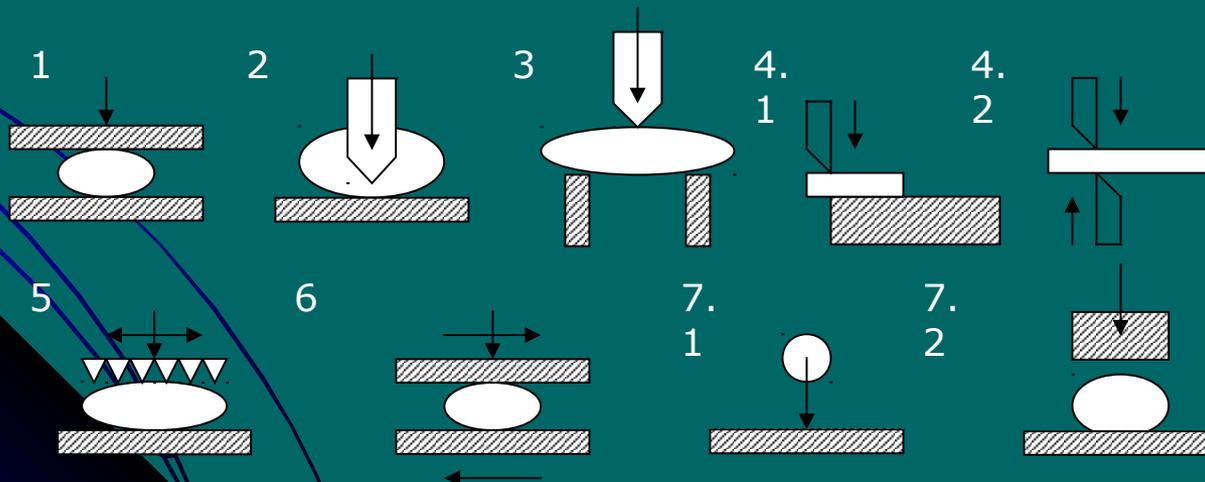
Разламывание, за счет изгибающих сил.

Резание, используется нож. Можно получать куски определенного размера и формы.

Распиливание, использование пилы. Также получают заданные форму и размер кусков материала.

Истирание, для тонкого помола.

Измельчение при ударе. Различают свободный и стесненный удары.



МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Работа на измельчение:

$$A = A_s + A_v = A_{уд} 6d_n^2 (i - 1) + \frac{\sigma^2 V}{2E}$$

Где A_s – работа на образование новой поверхности,

A_v – работа на объемную деформацию материала,

$A_{уд}$ – удельная работа образования одной единицы новой поверхности,

d_n – начальный размер,

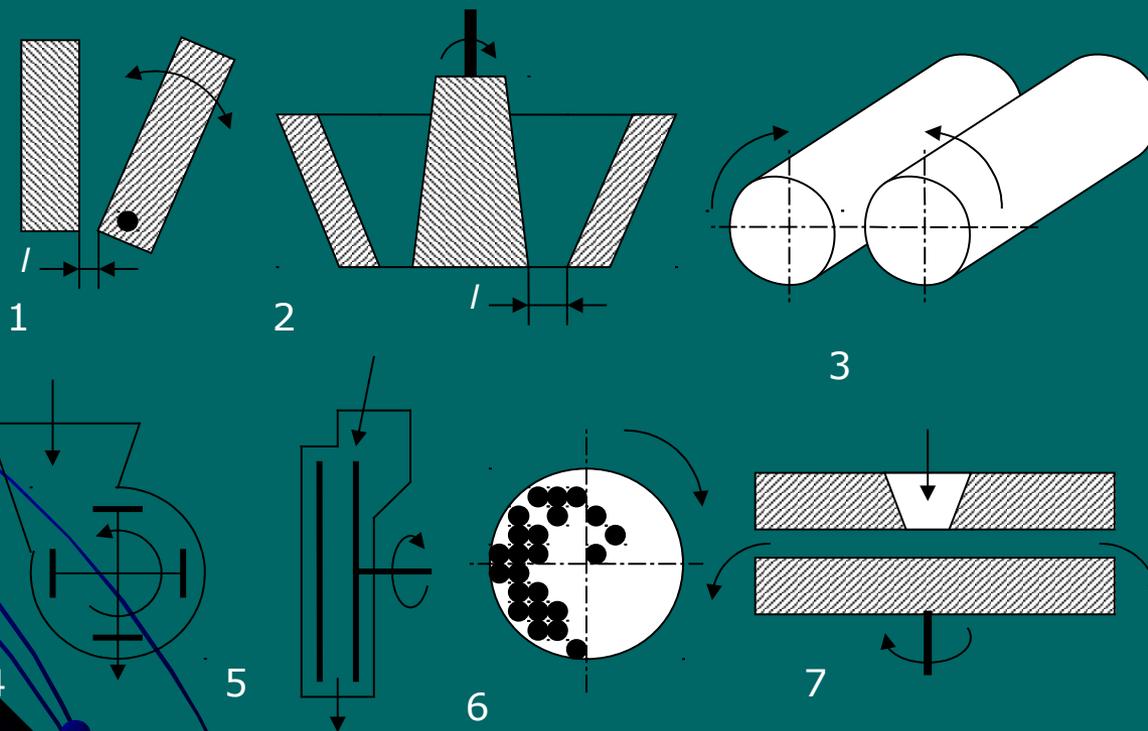
σ – предел прочности,

E – модуль упругости Юнга.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Для измельчения применяют следующие аппараты:

1. дробилки: щековая (1), конусные (2), вальцовая или валковая (3), молотковая (4), дисковая (5).
2. шаровые мельницы (6).
3. жернова (7).



МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

4.2 Прессование

На продукт оказывается давление, под действием которого происходит изменение его свойств и формы.

Различают:

- 1) отжатие (жидкость от твердых компонентов);
- 2) формование и штамповка (кондитерские изделия, котлеты и т.д.);
- 3) прессование или брикетирование (в т.ч. таблетки);
- 4) экструзия – продавливание материала через профилирующие головки с одновременной термообработкой.

Факторы, влияющие на процесс прессования: 1) давление, чем больше, тем эффективнее, производительнее, но потеря ценных компонентов, засорение жидкой фазы твердой, перерасход энергии;

- 2) прочность и размер прессуемого материала, толщина слоя (требуют повышения давления и расхода энергии);
- 3) продолжительность процесса;
- 4) температура.

Перечисленные в пп. 3 и 4 характеристики с ростом их значения повышают производительность, но повышают расход энергии, при этом может произойти снижение пищевых свойств продукта.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Расчетные
характеристики:

Коэффициент
уплотнения:

$$\beta_y = \frac{V_n}{V_k}$$

Коэффициент
прессования:

$$K_n = \frac{(V_n - V_k) \cdot 100}{V_n}$$

(составляет 60–95
%)

Критерий
Фурье:

$$F_{оп} = \frac{c \cdot \tau}{h^2}$$

c – константа прессования, m^2/c ; h – высота
слоя.

Работа прессования:

$$A_{\Pi} = \int_{h_0}^{R_k} S p dh$$

S – поперечное сечение.

Аппараты: прессы, формовочные, штамповочные
аппараты, экструдеры.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

4.3 Смешивание и сортировка сыпучих и пластичных материалов

Смешивание – для получения однородных по составу систем и смесей.

Продолжительность перемешивания:
$$\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{X_1}{X_1 - X_2}$$

Где k – постоянная, экспериментальный параметр,
 X_1 и X_2 – начальная и конечная концентрация компонента.

При длительном перемешивании наблюдается расслоение, поэтому оптимальное время перемешивания:

$$\tau_{opt} = \frac{m}{n}$$

Где m – количество перемешиваний, n – число оборотов.

Также как при перемешивании жидкостной системы важное значение имеют интенсивность и степень перемешивания, а также коэффициент однородности:

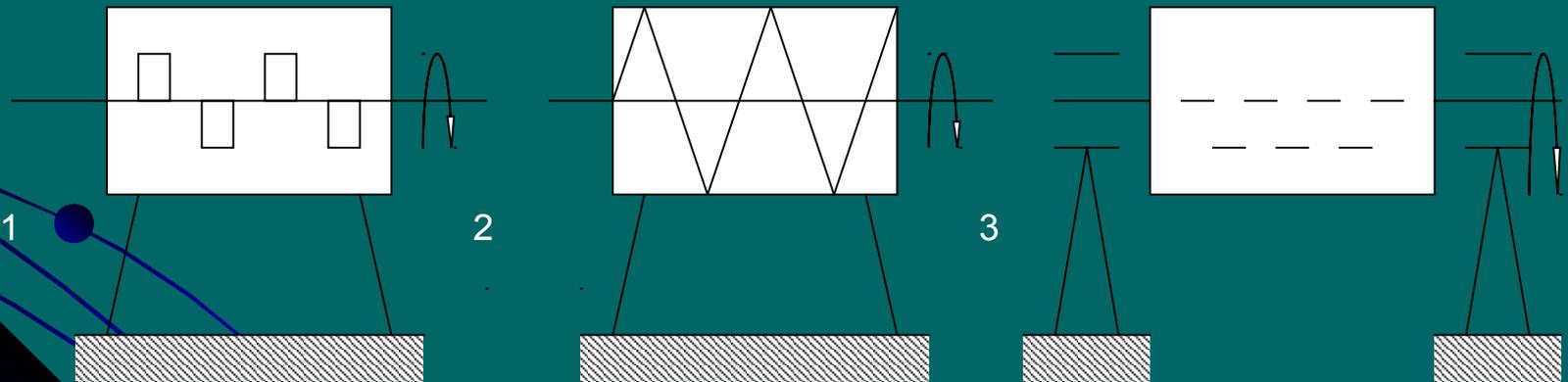
$$\beta_o = \frac{x_{нк} - \Delta x}{x_{нк}}$$

Где $x_{нк}$ – начальная концентрация,
 Δx – отклонение концентрации в пробе от начальной.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Смесители (периодически и непрерывно действующие):

1) лопастной, 2) шнековый, 3) барабанный



МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

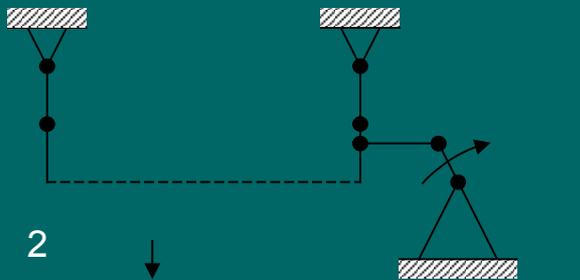
Разделение или сортировка используется для разделения продуктов по каким-либо признакам:

- 1) Сортирование – по качеству
- 2) Калибровка – по величине
- 3) Просеивание – отделение продуктов от примесей
- 4) Триерирование – разделение по форме
- 5) Сепарирование – по плотности
- 6) Магнитное сепарирование – по магнитным свойствам

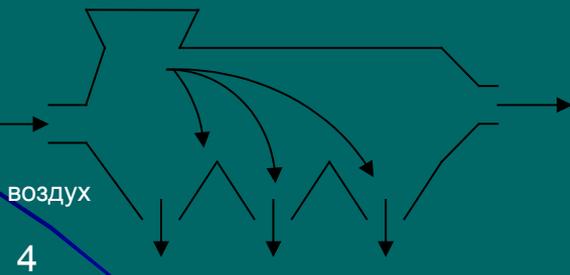
МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Аппараты:

- 1) Сита
- сита)
- 3) Гидравлические сепаратор
- 5) Дисковый сепаратор



2



4

воздух

Эл. магнит

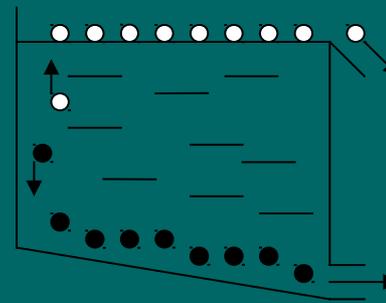
6

немагнитн. продукты

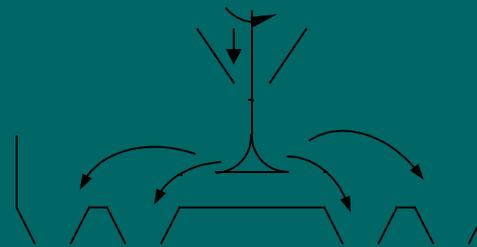
2) Грохоты (механические

4) Веялки

6) Электромагнитный



3



5

Пропускная способность сита характеризуется его живым сечением:

$$\varphi = \frac{S_0 \cdot 100}{S}$$

где S_0 – площадь отверстий, S – площадь всего сита.

Для характеристики размеров частиц используют обозначение плюс, минус. Например, частица проходит через отверстие 3 мм и задерживается на отверстии 2 мм. Ее класс крупности обозначают – 3 + 2.

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова

Кафедра технологии переработки и стандартизации

КОЗЛОВ В. И.

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**Методические рекомендации по изучению дисциплины для
студентов очного и заочного обучения специальности
5В072800 Технология перерабатывающих производств**

Костанай, 201

ББК
К

Автор:

Козлов Владимир Иванович , кандидат технических наук, ст. преподаватель,
Кафедры технологии переработки и стандартизации

Рецензенты:

Кальнаус Владимир Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Щербаков Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент,

Козлов В.И.

ББК
К

Методические рекомендации по выполнению практических занятий

Методические указания предназначены для выполнения практических работ студентов специальности 050728- технология перерабатывающих производств, очной и заочной форм обучения, составлены в соответствии с ГОСО специальности, ГОСО РК 5.03.016-2009 и МИ КГУ 013-2009 с изменениями от 22.12.2009г. и 26.03.2010

ББК-

Утверждено методическим советом Аграрно-биологического факультета,
протокол от ____ 20 __ г. № __.

© Костанайский государственный
университет им. А. Байтурсынова,

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	2
ТЕМА 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТРУБОПРОВОДА И АРМАТУРЫ.....	3
ТЕМА 2 ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТАРЕЛЬЧАТЫХ И НАСАДОЧНЫХ КОЛОНН.....	9
ТЕМА 3 ИЗУЧЕНИЕ ГИДРАВЛИКИ ВЗВЕШЕННОГО СЛОЯ.....	15
ТЕМА 4 ИСПЫТАНИЕ РАМНОГО ФИЛЬТР-ПРЕССА.....	19
ТЕМА 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАТ МОЩНОСТИ НА ПЕРЕМЕШИВАНИЕ В АППАРАТЕ С МЕШАЛКОЙ.....	25
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	29

Введение

Данные методические рекомендации предназначены для более полного изучения студентами курса дисциплины «Процессы и аппараты перерабатывающих производств».

По дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств» студенты изучают основные процессы пищевых производств, их физическую сущность, теоретические основы, принципиальные схемы осуществления этих процессов, конструкции типовых машин и аппаратов и методы их расчета, методы повышения производительности оборудования, способы интенсификации технологических процессов, вопросы передовой и зарубежной техники, сведения по эксплуатации машин и аппаратов пищевых производств.

Для успешного усвоения этих вопросов студенты должны иметь подготовку в объеме вузовских программ по следующим дисциплинам: высшая математика, общая физика, общая и физическая химия, машиностроительное черчение, теоретическая механика, гидравлика и гидромшины, термодинамика и теплопередача, детали машин и сопротивление материалов, алгоритмические языки и вычислительная техника.

ТЕМА 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТРУБОПРОВОДА И АРМАТУРЫ

Цель работы: Экспериментально определить гидравлическое сопротивление контрольных участков трубопровода и арматуры. Сопоставить справочные и экспериментальные значения коэффициентов трения и местных сопротивлений.

План:

- Основные определения и теория процесса
- Описание установки
- Порядок выполнения работы
- Обработка результатов измерения и содержание отчета

Основные определения и теория процесса

Трубопроводная сеть включает в себя прямые участки труб и местные сопротивления, в которых поток жидкости (газа) изменяет свою скорость по величине и направлению. К местным сопротивлениям относятся вентили, краны, задвижки, диафрагмы, повороты труб, внезапные и плавные расширения или сужения и т.д.

При движении среды по трубопроводной сети, вследствие вихреобразования и трения, энергия давления переходит в другие ее виды, в результате чего давление по длине сети падает. Если выбрать участок трубопровода и измерить давление на его границах, то разность измеренных величин будет потерей давления или гидравлическим сопротивлением данного участка.

Гидравлическое сопротивление прямого участка сети без местных сопротивлений рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_{тр} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho w^2}{2} \quad (1)$$

где $\Delta P_{тр}$ – потеря давления на трение в прямой трубе, Па;

l – длина трубы, м;

d – внутренний диаметр трубы, м;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

w – скорость потока, м/с.

Коэффициент трения λ является безразмерной величиной и зависит от режима движения жидкости. Формулы для его расчета приведены в [1].

Потеря давления на трение в змеевике $\Delta P_{\text{зм}}$ больше, чем в прямой трубе $\Delta P_{\text{тр}}$:

$$\Delta P_{\text{зм}} = \Delta P_{\text{тр}} \cdot \psi \quad (2)$$

Безразмерный поправочный коэффициент $\psi > 1$ вычисляют по формуле:

$$\psi = 1 + 3,54 \frac{d}{D}$$

где d – внутренний диаметр трубы, м;

D – диаметр витка змеевика, м.

Потеря давления в местных сопротивлениях рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_{\text{м.с.}} = \zeta \frac{\rho w^2}{2} \quad (3)$$

Коэффициенты местного сопротивления ζ зависят от вида сопротивления и берутся из справочных таблиц [1].

Описание установки

Вода из напорного бака 1 с помощью центробежного насоса 2 подается через систему различных гидравлических сопротивлений и поступает обратно в бак. Бак установлен выше насоса и питается от общего коллектора холодной воды. Поступив в первую линию, поток проходит сначала диафрагму 3, затем плавное расширение и плавное сужение 4. Далее поступает в четырехвинтовой горизонтально расположенный змеевик 5 диаметром 480мм. Затем проходит внезапное расширение и внезапное сужение потока 6. Диаметр основных труб составляет 55x2,5 мм. Диаметр большой трубы – 100x2,5 мм.

На разветвлении потока установлен коллектор, из которого жидкость с помощью задвижек 8, 12, 13 может быть направлена по второй, третьей или четвертой линии. На второй линии установлены дополнительно кран 9 и вентили 10, 11. На четвертой линии имеется прямой участок трубы 14 длиной 5м, предназначенный для исследования сопротивления трения. Запорная арматура имеет условный проход 50 мм.

Изменение скорости движения жидкости в трубопроводе достигается регулировкой расхода с помощью вентиля на линии нагнетания насоса. Расход воды измеряется диафрагмой 3, по показаниям дифференциального манометра 7. Потери давления при прохождении потока по прямому участку трубы, а также через арматуру, сужения и расширения измеряются тем же дифманометром, который работает в комплекте со вторичным прибором.

Порядок выполнения работы

1. Заполнить напорный бак водой.
2. Открыть вентили на всасывающем и нагнетательном трубопроводе центробежного насоса.
3. Закрыть задвижки 8, 12 и открыть задвижку 13.
4. Включить центробежный насос.
5. Измерить перепад давления на диафрагме 3 и определить расход воды по графику.

6. Измерить поочередно перепады давления на плавном расширении 4, змеевике 5, резком расширении 6, прямом участке 14. Результаты измерений занести в таблицу.

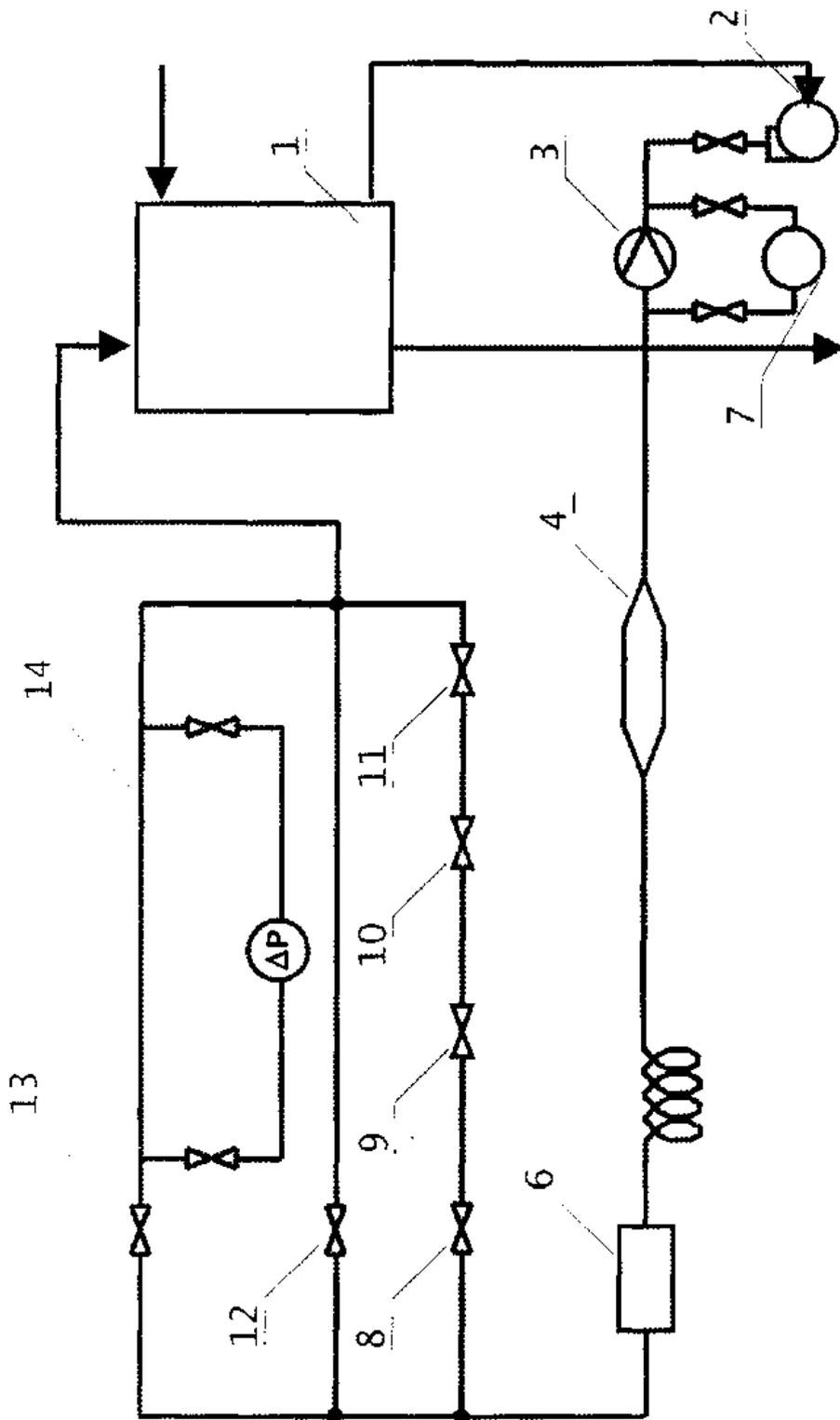


Рисунок 1- Схема Установки

- 1- напорный бак
- 2- центробежный насос
- 3- диафрагма
- 4- плавное расширение

- 5- змеевик
 - 6- внезапное расширение
 - 7- вентили нормальные
7. Закрывать задвижку 13 и открыть задвижку 8 и выполнить замеры перепада давления на кране 9 и вентиле 10, 11. Результаты измерений занести в таблицу 1.
 8. Далее с помощью вентиля на нагнетательном трубопроводе изменяют расход воды и выполняют все измерения для второго опыта.

Таблица 1 - Измеренные величины

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Значение
Расход воды по диафрагме	V	м ³ /с	
Потери давления			
- на прямом участке	ДР _{тр.}	Па	
- на плавном расширении	ДР _{пл.р.}	Па	
- на змеевике	ДР _{зм.}	Па	
- на резком расширении	ДР _{р.р.}	Па	
- на резком сужении			
- на кране	ДР _{р.с.}	Па	
- на вентиле	ДР _{кр.}	Па	
- на диафрагме	ДР _{вн.}	Па	
	ДР _{д.}	Па	

Обработка результатов измерения и содержание отчета

1. На основе перепада давления на диафрагме по градуировочному графику определяют расход воды V, м³/с.
2. По уравнению расхода $V = w \cdot S$ рассчитывают скорость потока на контрольных участках трубопроводной сети (для случаев сужения и расширения расчетную скорость находят по наименьшему сечению трубопровода).
3. Определяют число Рейнольдса

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

4. Исходя из опытных значений потери давления на различных участках трубопровода с помощью уравнений (1) и (2) рассчитывают экспериментальные значения λ и ζ для обоих опытов и полученные результаты заносят в таблицу 2. Для рассматриваемого змеевика ламинарный режим при $Re \leq 9000$ [1].
5. По графику или соответствующему уравнению устанавливают величину λ при шероховатости трубы $e = 0,2$ мм [1].
6. Находят величины ζ по данным таблиц в приложении [1]. Значения λ и ζ заносят в таблицу 2, в графу справочные данные.
7. Сопоставляют справочные и экспериментальные значения коэффициентов трения и местных сопротивлений.

Отчет должен включать формулировку цели работы, схему установки, описание методики измерений и расчеты необходимых параметров.

Таблица 2 – Рассчитанные величины

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Значение	Справочные данные
Скорость потока	W	м/с		
Число Рейнольдса	Re			
Коэффициент трения:	λ тр.			
- прямой трубы	λ зм.			
- змеевика				
Коэффициент местных сопротивлений:	ζ пл.р.			
- плавного расширения	ζ р.р.			
- резкого расширения	ζ р.с.			
- резкого сужения	ζ кр.			
- крана	ζ вн.			
- вентиля	ζ д.			
- диафрагмы				

ТЕМА 2 ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТАРЕЛЬЧАТЫХ И НАСАДОЧНЫХ КОЛОНН

Цель работы: Экспериментально определить гидравлическое сопротивление сухих и орошаемых контактных элементов – тарелок и насадок. Сопоставить измеренные величины с рассчитанными по эмпирическим зависимостям.

План:

- Основные определения и теория процесса
- Описание установки
- Порядок выполнения работы
- Обработка результатов измерения и содержание отчета

Основные определения и теория процесса

Тарельчатые и насадочные колонны являются широко распространенными аппаратами в химической и других смежных отраслях промышленности. В них осуществляется взаимодействие восходящих потоков газа или пара с жидкостью, стекающей по колонне вниз (абсорбция, ректификация).

Тарельчатые колонны работают в основном в барботажном режиме, когда пар или газ проходит через слой жидкости на тарелке в виде пузырей или струй.

Насадочные колонны работают в большинстве случаев как поверхностные аппараты, когда пар или газ взаимодействуют с жидкостью, стекающей в виде пленок по насадке.

Существует большое разнообразие контактных тарелок: колпачковые, ситчатые, клапанные, струйные и т.д. Их устройство и принцип работы описаны в [2].

Наиболее распространенной насадкой являются кольца Рашига, которые изготавливаются из керамики и металла. Кроме них используются также кольца Паля, спиральная насадка и др. [2].

Назначение тарелок и насадки в колонных аппаратах состоит в том, чтобы создать хороший контакт газа и жидкости и тем самым обеспечить эффективное протекание процессов тепло- и массообмена между взаимодействующими фазами.

Для того чтобы обеспечить перемещение газа через колонну, необходимо затратить мощность на преодоление гидравлических сопротивлений.

$$N = \Delta P \cdot V \quad (1)$$

где ΔP – гидравлическое сопротивление колонны, Па;

V – объемный расход газа, м³/с.

Для колпачковых тарелок гидравлическое сопротивление рассчитывают как сумму трех составляющих:

$$\Delta P_{\text{т}} = \Delta P_{\text{сух.}} + \Delta P_{\text{у}} + \Delta P_{\text{с.т.}} \quad (2)$$

где $\Delta P_{\text{сух.}} = \zeta \frac{\rho_{\text{г}} w_0^2}{2}$ – сопротивление сухой тарелки, Па;

$\Delta P_{\text{у}} = 2\sigma \cdot \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{b} \right)$ – сопротивление связанное с преодолением сил поверхностного натяжения жидкости, Па;

$\Delta P_{\text{с.т.}} = 1,3 \cdot K \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \left(l + \frac{m}{2} + \Delta h \right) \cdot g$ – сопротивление, оказываемое слоем жидкости на тарелке, Па.

Здесь: $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³;

$\rho_{\text{г}}$ – плотность газа, кг/м³;

ζ – коэффициент сопротивления колпачковой тарелки ($\zeta \approx 5$);

σ – поверхностное натяжение жидкости, Н/м;

m – высота прорезей колпачка, м;

b – ширина прорезей колпачка, м;

$w_0 = w/S$ – скорость газа в прорезях колпачка, м/с;

$w = V/S$ – скорость газа в колонне, м/с ;

V – расход газа, м³/с;

S – площадь сечения колонны, м²;

ш – доля сечения прорезей колпачка определяется как отношения их суммарной площади на тарелке к площади поперечного сечения колонны S , кг/м³;

K – отношение плотности пены к плотности чистой жидкости

($K \approx 0,5$);

l – расстояние от верхнего края прорезей до сливного порога, м ($l = 0,01$ м);

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$D h = (V_{ж}/ПК)$ – подпор жидкости над переливным устройством, м;

$V_{ж}$ – объемный расход жидкости, м³/с;

Π – периметр слива жидкости, м.

С увеличением скорости газа растет гидравлическое сопротивление тарелок, и при некоторых значениях W расходы энергии могут оказаться слишком большими. Однако чаще предельное значение скорости газа в тарельчатых колоннах определяется величиной брызгоуноса, который определяется как отношение количества жидкости, уносимого одним килограммом газа с нижележащей на вышележащую тарелку. Величину брызгоуноса e (кг жидкости/кг газа) для колпачковых тарелок можно определить по формуле:

$$e = (11,5 \cdot 10^{-6}/y) \cdot (W/H_C)^{3,2} \quad (3)$$

где H_C – высота сепарационного пространства, представляющая собой расстояние от верхней кромки пены до вышележащей тарелки, м.

Допустимая величина брызгоуноса составляет 0,1 кг/кг. Если значение больше 0,1, то необходимо уменьшить скорость газа в колонне.

Максимальный расход жидкости в колонне определяется сечением переливного устройства, обеспечивающего переток жидкости с вышележащей тарелки на нижележащую. При этом допустимая скорость жидкости в переливном устройстве можно рассчитать как

$$U = 0,008 \sqrt{H_{MT}} \sqrt{(\rho_{жс} - \rho_г)} \quad , \text{ м/с} \quad (4)$$

Сопротивление орошаемой насадочной колонны можно рассчитать исходя из величины гидравлического сопротивления сухой насадки

$$D P_n = D P_{сух.} \cdot [1 + 8,4(L/G)^{0,4} (c_T/c_{ж})^{0,23}] \quad (5)$$

Сопротивление сухой насадки зависит от высоты слоя H и определяется как

$$\Delta P_{\text{сyx}} = \lambda \frac{H \cdot a \cdot \rho_z \cdot w^2}{8 \varepsilon^3} \quad (6)$$

где a – удельная поверхность насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$

$a = 300$

ε – доля свободного объема насадки, $\text{м}^3/\text{м}^3$

$\varepsilon = 0,7$

Обе эти величины зависят от вида насадки и берутся из справочных таблиц [2].

Коэффициент сопротивления λ зависит от числа Рейнольдса для газа

$$\text{Re}_r = \frac{4 \cdot w \cdot \rho_z}{a \cdot \mu_z}$$

При $\text{Re}_r < 40$ $\lambda_r = 140/\text{Re}_r$

При $\text{Re}_r > 40$ $\lambda_r = 16/\text{Re}_r^{0,2}$

В зависимости от скорости газа возникают различные режимы работы насадочной колонны: пленочный, подвисяния, захлебывания, эмульгирования.

При достижении определенной скорости газа, называемой «точкой инверсии фаз» происходит резкое изменение в характере гидродинамической обстановки. В этот момент насадка полностью заполняется жидкостью, а газ начинает барботировать через нее в виде пузырьков и струек. Дальнейшее увеличение скорости может привести к захлебыванию колонны, при котором нарушается противоток газа и жидкости и жидкость выбрасывается из верхней части колонны. Очевидно, что рабочая скорость должна быть меньше, чем скорость захлебывания W_z , которую можно найти из уравнения:

$$\lg \left(\frac{W_z^2 \cdot a \cdot \rho_z \cdot \mu_{жс}^{0,16}}{g \cdot \varepsilon^3 \cdot \rho_{жс}} \right) = A - 1,75 \left(\frac{V_{жс} \cdot \rho_{жс}}{V_z \cdot \rho_z} \right)^{0,25} \left(\frac{\rho_z}{\rho_{жс}} \right)^{0,125} \quad (7)$$

Коэффициент $A = 0,022$ для процессов абсорбции, при которых жидкость взаимодействует с газами $A = -0,125$ для систем пар – жидкость.

Описание установки

Установка состоит из двух прозрачных колонн с внутренним диаметром 200мм и высотой 1380мм. Колонны изготовлены из царг, которые посредством резиновых трубок соединены с U-образным дифманометром.

Воздух подается в нижнюю часть колонны, а вода поступает в верхнюю.

Для определения расходов воздуха и воды имеются ротаметры, снабженные калибровочными графиками.

Тарельчатая колонна имеет 4 одноколпачковых тарелки. Расстояние между тарелками $H_{\text{мт}} = 0,182$ м. Внутренний диаметр парового патрубка

$d_{\text{п}} = 0,06$ м. Диаметр колпачка, $d_{\text{к}} = 0,1$ м, а его высота $h_{\text{к}} = 0,075$ м. Колпачок имеет треугольные прорези высотой 0,013м и шириной в основании также 0,015м. Число прорезей по периметру равно 19. Расстояние от нижней кромки колпачка до тарелки 0,01м. Диаметр сливного патрубка составляет 0,021м, высота его над тарелкой 0,045м.

Насадочная колонна имеет слой насадки из колец Рашига. Высоту слоев насадки необходимо измерить в опытах.

Порядок выполнения работы

Для исследования влияния скорости газа на сопротивление сухой тарелки (насадки) необходимо измерить их сопротивление при трех различных расходах газа. Затем при этих расходах газа измерить сопротивление орошаемой тарелки (насадки). Расход жидкости на орошение в этом случае остается неизменным.

Далее исследуется влияние плотности орошения на сопротивление тарелки (насадки).

Для этого при постоянной скорости газа измеряют гидравлическое сопротивление орошаемой тарелки (насадки) при трех плотностях орошения.

Измеренные данные сводят в таблицу 1.

Таблица 1 - Опытные данные по сопротивлению колонн

№ п/п	Расход, м ³ /с		Сопротивление, мм вод. столба				Примечания
	газа	жидкости	Сухой		Орошаемой		
			тарелки	насадки	тарелки	насадки	

В графе «Примечания» записываются визуальные наблюдения.

Обработка результатов измерения и содержание отчета

Измеренные величины позволяют рассчитать скорость газа в колонне и плотность орошения. А это, в свою очередь, совместно со сведениями о геометрических характеристиках колонн и физико-химических свойствах газа и жидкости позволяет рассчитать гидравлические сопротивления тарелок и насадок по формулам (2 - 6). Сравнение опытных и рассчитанных величин сводится в таблицу 2.

Таблица 2 - Сравнение опытных и рассчитанных величин

№ п/п	Скорость газа W, м/с	Плотность орошения U, м ³ /м ² с	Сопротивление, Па				(Для тарелок)
			Сухой тарелки (насадки)		Орошаемой тарелки (насадки)		е, кг/кг
			опыт	расчет	опыт	расчет	

Кроме того, для насадочной колонны при одной из плотностей орошения необходимо рассчитать скорость захлебывания по (7) и сравнить ее с действительной скоростью в колонне.

Отчет должен содержать схему установки, эскиз тарелки с указанием размеров и направления движения газа и жидкости, таблицы измеренных и рассчитанных величин.

ТЕМА 3 ИЗУЧЕНИЕ ГИДРАВЛИКИ ВЗВЕШЕННОГО СЛОЯ

Цель работы: Экспериментально определить скорости начала псевдооживления и уноса частиц при стесненных условиях в потоке воздуха и сопоставить их с рассчитанными значениями. Проследить условия перехода зернистого слоя из неподвижного состояния во взвешенное и в режим пневмотранспорта.

План:

- Основные определения и теория процесса
- Описание установки
- Порядок выполнения работы
- Обработка результатов измерения и содержание отчета

Основные определения и теория процесса

Если через неподвижный слой зернистого материала на решетке пропускать газ, постепенно увеличивая его расход, то при некоторой скорости газа, называемой скоростью псевдооживления $W_{по}$, слой переходит из неподвижного во взвешенное состояние. В таком слое твердые частицы интенсивно движутся и слой напоминает кипящую жидкость. Как и жидкость, он может течь, обладает вязкостью.

С увеличением скорости слой становится более рыхлым, т.е. увеличивается его порозность ε , представляющая собой долю объема, занятого оживающим агентом

$$\varepsilon = \frac{V_{сл} - V_{ч}}{V_{сл}} = 1 - \frac{V_{ч}}{V_{сл}} \quad (1)$$

где $V_{сл}$ – общий объем слоя, m^3 ;

$V_{ч}$ – объем твердых частиц, m^3 .

Для неподвижного слоя частиц $\varepsilon \approx 0,4$; для псевдооживленного - $0,4 < \varepsilon < 1,0$; для пневмотранспорта $\varepsilon \approx 1,0$.

Многие процессы, например сушка, протекают гораздо быстрее в псевдооживленных слоях по сравнению с неподвижными.

При достижении второй критической скорости, называемой скоростью уноса, частицы приобретают однонаправленное движение и уносятся потоком газа из аппарата. На практике это используют для пневмотранспорта сыпучего материала.

Скорость псевдоожижения определяется из равенства гидравлического сопротивления слоя весу частиц, приходящихся на единицу площади сечения аппарата

$$D P = G/S \quad (2)$$

Значения порозности слоя e , скорости газа W и диаметра частиц d находятся из зависимости $Lu = f(Ar, e)$ [1]..

Критерий Лященко и Архимеда определяются по формулам:

$$L_y = Re^3 / Ar = w^3 c_r^2 / m_r (c_c - c_r) g \quad (3)$$

$$Ar = \frac{g \cdot \rho_2^2 \cdot d^3 (\rho_4 - \rho_2)}{\mu_2^2 \rho_2} \quad (4)$$

Верхняя граница псевдоожиженного состояния ($e \approx 1$) соответствует скорости свободного витания одиночных частиц.

Очевидно, что при скорости потока большей, чем скорость витания начнется унос частиц из слоя.

В инженерной практике важно определить обе критические скорости. Для этого можно, в частности, воспользоваться формулами Годеса:

$$Re_{no} = \frac{Ar}{1400 + 5,22 Ar^{0,5}} \quad (5)$$

$$Re_{yh} = \frac{Ar}{18 + 0,61 Ar^{0,5}} \quad (6)$$

Значение W_{no} и W_{yh} находят из критических значений критерия Рейнольдса.

Описание установки

Схема установки представлена на рис. 1. Она включает в себя две прозрачные колонки 3 и 8 диаметром 5см. В колонках установлены сетки, на некоторых из них помещен зернистый материал.

В нижние части колонок из общего коллектора поступает сжатый воздух, расход которого измеряется ротаметрами 4 и 7 и регулируется вентилями 5 и 6.

К каждой из колонок присоединено по два дифманометра, заполненные водой. Дифманометры 2 и 9 измеряют гидравлическое сопротивление сеток, а манометры 1 и 10 гидравлические сопротивления сеток и слоев зернистого материала

Порядок выполнения работы, обработка результатов измерения и содержание отчета

Работу проводят на одной из двух колонок.

9. Осторожно открывают вентиль 5 (6), увеличивают расход воздуха в колонке через 2 – 5 делений ротаметра 4 (7), наблюдают при этом за состоянием слоя, одновременно записывая показания дифманометров.
10. Определяют расход газа соответствующий скорости начала псевдооживления.
11. Полученные данные заносят в табл. 1 и строят график зависимости гидравлического сопротивления слоя от скорости W .
12. Зная скорость псевдооживления рассчитывают критическое значение критерия Лященко $Lu_{по}$ и из графика [1].. определяют значение критерия Архимеда при $\epsilon = 0,4$. Из критерия Ar находят диаметр частиц.
13. Режимы псевдооживления и начало уноса устанавливают визуально, повторяя опыт 3 – 4 раза и одновременно измеряя перепад давления в слое и расход воздуха.
14. После усреднения расхода воздуха, соответствующего началу уноса частиц, по уравнению расхода определяют экспериментальное значение скорости уноса. Полученное таким образом значение $(W_{ун})_э$ сравнивают

с рассчитанным из критерия Рейнольдса по уравнению (6). Полученные данные заносят в табл. 2.

Таблица 1. Расход газа

Показание ротаметра	Расход воздуха $V, \text{ м}^3/\text{с}$	Скорость воздуха $W, \text{ м/с}$	Сопротивление слоя		Сопротивление сетки		Примечание
			мм. водян. столба	Па	мм. водян. столба	Па	

В графе «Примечание» записываются визуальные наблюдения.

Таблица 2. Скорость уноса

Расход воздуха $V, \text{ м}^3/\text{с}$	Скорость псевдооживления $W_{\text{по}}, \text{ м/с}$	Скорость уноса $W_{\text{ун}}, \text{ м/с}$		Примечание
		Эксперимент.	Рассчитан.	

Отчет о работе должен содержать цель и задачи работы, схему установки, пример расчета скоростей $W_{\text{по}}, W_{\text{ун}}$, таблицы и графики экспериментальных и рассчитанных величин.

ТЕМА 4 ИСПЫТАНИЕ РАМНОГО ФИЛЬТР-ПРЕССА

Цель работы: Определить константы в уравнении фильтрования и производительность рамного фильтр-пресса.

План:

- Основные определения и теория процесса
- Описание установки
- Порядок выполнения работы
- Обработка результатов измерения и содержание отчета

Основные определения и теория процесса

Фильтрованием называют процесс разделения суспензий при помощи пористой перегородки, пропускающей жидкость (фильтрат) и задерживающей твердую фазу. В начальный момент фильтрования твердые частицы проникают в поры фильтровальной перегородки, затем накапливаются на ней и образуют слой осадка, который играет роль основной фильтрующей среды. Движущей силой процесса является разность давлений над слоем осадка и под фильтровальной перегородкой. По способу создания движущей силы фильтры делятся на вакуум-фильтры и фильтры, работающие под избыточным давлением, а по режиму работы – на фильтры периодического и непрерывного действия. Устройство фильтров и принцип их работы описаны в [2].

Интенсивность данного процесса и производительность фильтрующей аппаратуры определяются скоростью фильтрования, т.е. количеством фильтрата, прошедшего через 1м поверхности фильтрующей перегородки за единицу времени. Для несжимаемых осадков ее можно определить по уравнению:

$$W = \frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{oc} + R_{\phi n})} \quad (1)$$

где W - скорость фильтрования, $\text{м}^3 / (\text{м}^2 \text{с})$;

dV - объем фильтрата, м^3 ;

F - поверхность фильтрования, м^2 ;

ΔP - перепад давлений, Па;

μ - вязкость фильтрата, Па·с;

R_{oc} , $R_{\phi n}$ - сопротивление слоя осадка и фильтровальной перегородки, соответственно, м^{-1} ;

$d\tau$ - время фильтрования, с.

В процессе фильтрования изменяется сопротивление слоя осадка, если предположить, что структура осадка однородна, то сопротивление слоя осадка можно выразить следующей зависимостью [2].

$$R_{oc} = r_o \frac{Vx_o}{F} \quad (2)$$

где r_o - удельное сопротивление осадка, м^{-2} ;

x_o - относительная объемная доля твердой фазы в суспензии,
 м^3 осадка / м^3 жидкости.

Удельное сопротивление осадка зависит от структуры осадка, формы и размера частиц и определяется экспериментально. Для несжимаемых осадков оно постоянно. Сопротивление фильтровальной перегородки $R_{\phi n}$ принимается постоянным.

Подставив значение R_{oc} в уравнение (1), получим уравнение фильтрования в дифференциальной форме

$$\frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu \left(r_o \frac{V x_o}{F} \right) + R_{\phi n}} \quad (3)$$

Если фильтрование происходит при постоянной разности давлений ($\Delta P = \text{const}$), то интегрирование уравнения (3) в пределах от 0 до V и от 0 до τ дает:

$$V^2 + 2 \frac{R_{\phi n} \cdot F}{r_o x_o} V = 2 \frac{\Delta P F^2}{\mu r_o x_o} \tau \quad (4)$$

Разделив правую и левую части уравнения (4) на F^2 будем иметь

$$\left(\frac{V}{F} \right)^2 + \frac{2 R_{\phi n}}{r_o x_o} \left(\frac{V}{F} \right) = \frac{2 \Delta P}{\mu r_o x_o} \tau \quad (5)$$

и введя обозначения

$$\frac{V}{F} = V_F \quad ; \quad \frac{2 R_{\phi n}}{r_o x_o} = C \quad ; \quad \frac{2 \Delta P}{\mu r_o x_o} = K \quad (6)$$

получим уравнение, которое выражает зависимость объема фильтрата, проходящего через единицу поверхности фильтровальной перегородки от продолжительности фильтрования

$$V_F^2 + C V_F = K \tau \quad (7)$$

Чтобы определить константы C и K графическим способом уравнение (7) следует представить в виде: (после дифференцирования уравнения 7):

$$\frac{\Delta \tau}{\Delta V_F} = \left(\frac{2}{K} \right) V_F + \frac{C}{K} \quad (8)$$

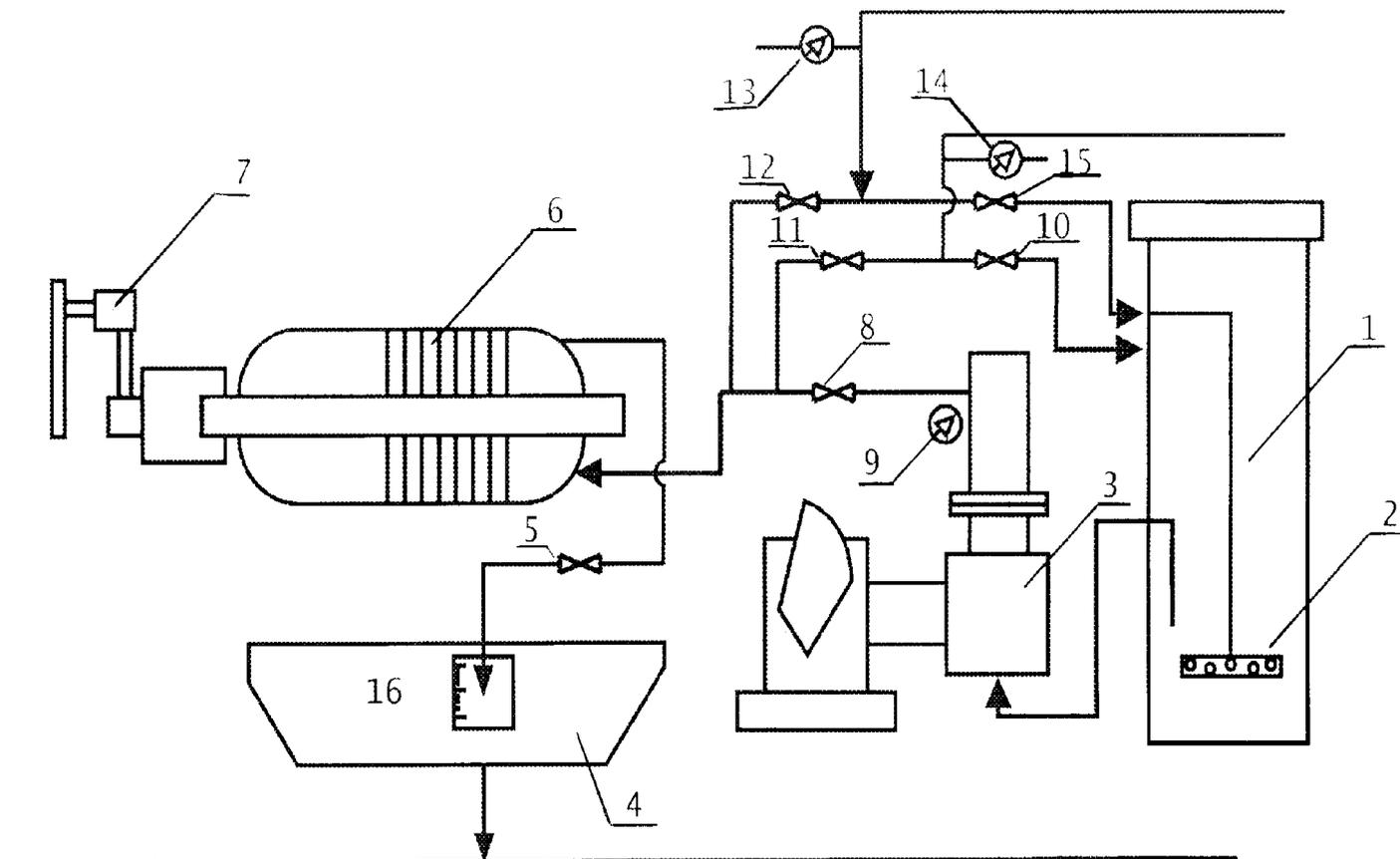


Рисунок 1. – Схема установки

1 – бак для суспензии

6 – рамный фильтр-пресс

9, 13, 14 – манометры

2 – пневматическая мешалка

7 – зажимное устройство

16 – мерный сосуд

3 – насос

5, 8, 10, 11, 12, 15 – вентили запорные

4 – ванна

В координатах $\frac{\Delta T}{\Delta V_F} = \left(\frac{2}{K}\right) V_F + \frac{C}{K}$ это уравнение выражается прямой линией, наклоненной к горизонтальной оси под углом β , тангенс которого равен $2/K$, а отрезок, отсекаемый на оси ординат C/K (рис. 1) Найденные значения K и C позволяют определить константы фильтрации r_0 и $R_{фп}$ на основе соотношений (6).

Описание установки

Основным элементом установки является плиточно-рамный фильтр пресс, который состоит из чередующихся рам и плит рис. 1 Размеры рам в свете 315x315. Плиты и рамы опираются ручками на брусья. Между плитами и рамами помещаются тканевые фильтровальные перегородки. Общая поверхность фильтрования зависит от числа фильтровальных перегородок и может быть изменена от опыта к опыту. Плиты и рамы прижимаются к неподвижной плите при помощи прижимного устройства.

Суспензия готовится в баке емкостью 0,75 м³ с пневматическим перемешиванием. Сжатый воздух для перемешивания подается из воздухопровода.

Суспензия в фильтр – пресс подается диафрагменным насосом. Она поступает в нижний канал фильтр – пресса и из него через отверстия в нижних стенках рам в камеры, образованные плитами и рамами. Фильтрат проходит через ткань, поднимается по желобам плит в верхний сборный канал и удаляется наружу. Осадок остается на перегородках внутри камер. Его промывают водой, сушат воздухом и выгружают.

Порядок выполнения работы и обработка результатов измерения

1. Приготовить суспензию из полистирола и воды.

2. Подать сжатый воздух в бак (1) для перемешивания суспензии.
3. Подготовить фильтр – пресс к работе:
 - покрыть плиты с двух сторон фильтровальной тканью так, чтобы отверстия в рамах и плитах совпадали с отверстиями в ткани;
 - плиты и рамы сдвинуть к опорной плите и зажать зажимным устройством.
4. Открыть вентиль (8) на трубопроводе подачи суспензии в фильтр-пресс и закрыть вентиль на трубопроводе подачи суспензии к барабанному вакуум-фильтру.
5. Включить электродвигатель диафрагмового насоса на подачи суспензии и момент получения фильтрата считать началом опыта.
6. С помощью мерника (16) отмечается несколько значений объема фильтрата V_1, V_2, V_3 , и по секундомеру – время $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$, за которое указанные объемы фильтрата собираются в мерный сосуд (16).
7. далее рассчитываются величины $V_F = V/F$, $D\phi$, DV_F и $D\phi / DV_F$ в которых строится график для определения констант фильтрации.

Опытные и рассчитанные данные сводятся в таблицу.

Таблица 1 - Опытные и рассчитанные данные

№ п/п	Объем фильтрата $V, \text{ м}^3$	Время фильтрации $\phi, \text{ с}$	$V_F=V/F$ $\text{ м}^3/\text{ м}^2$	$D\phi, \text{ с}$	DV_F $\text{ м}^3/\text{ м}^2$	$D\phi / DV_F$

Для определения удельного сопротивления осадка по (6) необходимо знать движущую силу процесса ДР, которая определяется как показание манометра (9) на линии подачи суспензии. (манометр показывает избыточное давление по отношению к атмосферному, $P_{\text{изб}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}}$

а это будет разность давлений над слоем осадка и за фильтровальной перегородкой). Значение ДР представляется в соотношении (6) в паскалях.

Установлено, что влажность осадка составляет приблизительно 16%. Поэтому взвесив осадок и учтя его влажность можно найти массу полистирола, а разделив ее на плотность определить объем частиц

$$V_{\text{ч}} = G_{\text{ос}}(100 - \text{щ}) / 100 \rho_{\text{полист.}}$$

Зная объем частиц и объем полученного фильтрата $V_{\text{ч}}$ можно рассчитать концентрацию частиц полистирола в суспензии

$$X_0 = V_{\text{ч}} / V$$

которая необходима для расчета $R_{\text{фп}}$ по уравнению (6).

Производительность фильтра за время ϕ можно определить по формуле:

$$V_{\text{ф}} = F \cdot V_{\text{F}} / \phi$$

ТЕМА 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАТ МОЩНОСТИ НА ПЕРЕМЕШИВАНИЕ В АППАРАТЕ С МЕШАЛКОЙ

Цель работы: Экспериментально определить затраты мощности на перемешивание в аппарате с мешалкой. Установить зависимость критерия мощности от числа Рейнольдса.

План:

- Основные определения и теория процесса
- Описание установки
- Порядок выполнения работы
- Обработка результатов измерения и содержание отчета

Основные определения и теория процесса

Перемешивание – это процесс многократного перемещения частиц текучей среды относительно друг друга во всем объеме аппарата, протекающий за счет импульса, передаваемого среде механической мешалкой, струей жидкости или газа. Процессы перемешивания широко применяются в химической и пищевой промышленности для приготовления суспензий, эмульсий и растворов, а также

для ускорения тепловых, массообменных и химических процессов. На практике наиболее распространенным способом перемешивания является механический, который осуществляется с помощью вращающихся механических мешалок. Устройство мешалок описано в [2].

Основными характеристиками процессов перемешивания являются интенсивность и эффективность перемешивания. Интенсивность перемешивания определяется количеством энергии, подводимой к единице объема или к единице массы перемешиваемой среды в единицу времени.

Под эффективностью перемешивания понимают технологический эффект, характеризующий качество проведения процесса.

Мощность, затрачиваемая на перемешивание, зависит от целого ряда факторов: конструкции мешалки, аппарата и его внутренних устройств, физических свойств среды и числа оборотов вала мешалки.

Для описания процессов перемешивания широко используются критериальные зависимости. Так, обобщенное уравнение гидродинамики для процессов перемешивания имеет вид [2]:

$$K_N = f(Re_M, Fr_M, \Gamma_1, \Gamma_2 \dots)$$

$$\text{или } K_N = A \cdot Re_M^m \cdot Fr_M^n \cdot \Gamma_1^q \cdot \Gamma_2^p \quad (1)$$

где $K_N = \frac{N}{\rho_{ж} \cdot n^3 \cdot d_M^5}$ – критерий мощности;

$$Re_\mu = \frac{\rho_{ж} \cdot n \cdot d_M^2}{\mu_{ж}} \quad \text{– модифицированное число Рейнольдса ;}$$

$$Fr_M = n \cdot d_M / g \quad \text{– модифицированное число Фруда;}$$

Γ_1, Γ_2 – симплексы геометрического подобия;

N – мощность на валу мешалки, Вт;

n – число оборотов мешалки в секунду, c^{-1} ;

d_M – диаметр мешалки (диаметр окружности, описываемый мешалкой), м.

Если при перемешивании на поверхности жидкости не образуется воронка, то влияние силы тяжести на протекание процесса будет невелико и при условии геометрического подобия уравнение (1) принимает вид:

$$K_N = C \cdot Re^m \quad (2)$$

Значения коэффициентов A , C и показателей m , n , p , q определяется экспериментально, а значения критерия мощности, как правило приводятся в виде графических зависимостей [1].

Описание установки

Работа выполняется на установке, общий вид которой представлен на рис. 1. Основным элементом установки является аппарат для перемешивания жидких сред, включающий перемешивающее устройство 7 и корпус 5. Привод состоит из электродвигателя постоянного тока 2, редуктора 3, пускового устройства 1. Частоту вращения измеряют тахометром 4 и пересчитывают с учетом передаточного числа редуктора. Подъемный столик 6 служит для изменения положения мешалки по высоте аппарата. Верхняя крышка аппарата отсутствует. Такое исполнение корпуса обеспечивает возможность наблюдения за процессом перемешивания в аппарате и обеспечивает легкую смену мешалок.

Величину крутящего момента определяют с помощью специального устройства 8, основанного на использовании трубок Пито.

Порядок выполнения работы

15. Установить мешалку 7 на вертикальный вал, предварительно замерив размер лопастей.
16. Заполнить сосуд 5 водой до метки на цилиндрической царге.
17. Установить рычаг регулирования скорости вращения мешалки на минимальное число оборотов.
18. Включить электродвигатель 2 привода мешалки.
19. Снять показания тахометра 4.
20. Определить показания устройства 8.

Далее проводят измерения при других числах оборотов мешалки. После проведения одной серии замеров двигатель выключают, меняют мешалку, и все операции повторяют в той же последовательности. Результаты измерений заносят в таблицу.

Обработка результатов измерения и содержание отчета

Для установившегося режима потребляемую мощность на перемешивание определяют по формуле:

$$N_n = M_{кр} \cdot n, \quad (3)$$

где n – скорость вращения мешалки, c^{-1} ;

$M_{кр}$ – крутящий момент, Н м;

N_n – мощность, затрачиваемая на перемешивание, Вт.

Для измерения крутящего момента на установке использована оригинальная методика, основанная на использовании трубок Пито. Одна из этих трубок вварена ровно в корпус аппарата, а другая направлена навстречу потоку жидкости и учитывает динамический напор. Чем интенсивнее вращение, тем больше разница уровней в указанных трубках. Для того чтобы установить связь $Д h$ с крутящим моментом, была выполнена калибровка трубок и получено уравнение

$$M_{кр} = 0,127 \cdot Д h^{0,42}, \quad Н \cdot м \quad (4)$$

В этом уравнении $Д h$ следует подставлять в миллиметрах.

Таблица 1 – Измеренные и рассчитанные величины

Тип	d_m	N	Д h	$M_{кр}$	N_p	Re_m	K_N	N_p
мешалки	м	об/с	мм	Н·м	Вт			Вт

Для каждого типа мешалок строится график зависимости $\lg K_N$ от $\lg Re_m$ и определяют показатель степени m и коэффициент C в уравнении (2).

По полученному уравнению рассчитывают критерий мощности, из которого определяют мощность, и сравнивают ее с опытной.

Отчет должен включать схему установки, расчетные формулы, таблицу измеренных и рассчитанных величин, графики зависимости $\lg K_N$ от $\lg Re_m$, вычисленные значения констант m и C .

Список использованных источников

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов /Под ред.чл-корр.АН СССР П.Г.Романкова.-10-е изд., перераб. и доп.-Л.: Химия, 1987.-576с.,ил.

2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов.Изд.2-е. В 2-х кн.-М.: Химия, 1995.-кн.1.-400с.: ил.

Рубежный контроль 1

1. Предмет «Процессы и аппараты». Цель и задачи.
2. Основные понятия и определения дисциплины.
3. Классификация процессов пищевых производств.
4. Классификация оборудования процессов пищевых производств.
5. Основные законы процессов пищевых производств.
6. Основные физические свойства сырья.
7. Гидравлические процессы. Основной закон.
8. Расчет трубопровода.
9. Гидромеханические процессы. Основные определения, расчетные формулы.
10. Аэродинамические процессы. Основные определения, формулы.
11. Расчет аспирационных систем.
12. Расчет вентиляционных систем.
13. Машины и аппараты гидромеханических процессов. Классификация, общая характеристика.
14. Машины и аппараты аэродинамических процессов. Классификация, общая характеристика.

Рубежный контроль 2

15. Механические процессы. Основные определения, формулы.
16. Классификация механических процессов.
17. Тепловые процессы. Основные определения, формулы.
18. Классификация тепловых процессов.
19. Массообменные процессы. Основные определения, формулы.
20. Классификация массообменных процессов.
21. Биохимические процессы. Основные определения, формулы.
22. Классификация биохимических процессов.
23. Машины и аппараты механических процессов.
24. Машины и аппараты тепловых процессов.
25. Машины и аппараты массообменных процессов.
26. Машины и аппараты биохимических процессов.