

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

Процессы и аппараты пищевых производств

Методические указания
для выполнения лабораторных работ
для студентов 3 курса
направления подготовки
35.03.07 Технология производства и переработки
сельскохозяйственной продукции
профиль подготовки
Технологии пищевых производств в АПК

Саратов 2018

Процессы и аппараты пищевых производств: методические указания для выполнения лабораторных работ для студентов 3 курса направления подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции / Под ред. Моргуновой Н.Л. Сост. Скрябина Л.Ю., Моргунова Н.Л.//ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ».- Саратов, 2018.- 87с.

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Процессы и аппараты пищевых производств» и предназначены для студентов 3 курса направления подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции, содержат краткое описание лабораторных работ по процессам пищевой промышленности и их расчетам. Направлены на формирование у студентов навыков использования знаний законов механики, гидравлики, термодинамики и тепломассообмена и правил эксплуатации гидравлических машин, теплотехнического оборудования при решении инженерных задач.

Введение

Специалисты в области технологии переработки продуктов животного происхождения должны обладать широким кругозором, понимать научные принципы аппаратурно-технологического формирования процессов, уметь оценить основные технико-экономические характеристики оборудования и выбирать оптимальные, выявлять резервы повышения интенсивности и экономичности процессов, снижения расходов норм и себестоимости продукции.

Тема 1. Машины для измельчения мяса. Исследование конструктивных параметров и расчет режущей пары «нож-решетка».

Цель занятия: Изучить устройство и работу машин для измельчения. Провести исследование конструктивных параметров основного рабочего узла машины для измельчения мяса и выполнить расчет режущей пары «нож-решетка».

Резанию подвергают овощи, фрукты, конфетную и тестообразную массу, мясные, кисломолочные, рыбные и другие продукты.

На практике применяют следующие основные способы резания: пуансоном, резцом, ножом и фрезой. Наиболее распространенный способ – резание ножом и фрезой.

Ножи бывают односторонние и двухсторонние.

Применяют ножи разнообразных форм: серповидные в куттерах, дисковые в слайсерах для резки хлеба, овощей, а также при порционировании продуктов, ленточные, крестовидные в измельчающих машинах и др. Ножи могут совершать возвратно-поступательное, вращательное и колебательное движение. В некоторых резательных машинах ножи остаются неподвижными, а изрезаемый материал движется определенным образом относительно ножей. Ножом режут в основном мягкие продукты.

Для распиливания туш применяют фрезы и пилы. Для резания пластических материалов применяют струну.

Резание можно разделить на собственно резание и рубку. При рубке резец перемещается только в перпендикулярном направлении к материалу, а при резании он движется как в перпендикулярном, так и в параллельном направлении к кромке материала. При рубке резец или клин проникает в толщу, например, мяса и уплотняет его верхний слой. При рубке поверхность получается не гладкой, не имеющей определенной формы. Рубку применяют, когда к поверхности среза не предъявляют специальных требований.

Способность лезвия разделять материал на части является его режущей способностью, которая зависит от усилия резания: чем усилие резания меньше, тем режущая способность лезвия больше. Однако режущая способность лезвия уменьшается по мере его износа. Важным технологическим параметром лезвия является скорость резания, под которой понимают скорость перемещения лезвия в направлении резания. С увеличением скорости резания усилие резания уменьшается. Естественно, что при резании мягких продуктов уменьшается усилие резания, увеличиваются скорость резания и срок эксплуатации лезвия.

В пищевой промышленности применяют режущие инструменты самых разнообразных форм: прямоугольные, дисковые, ленточные, серповидные и др. Режущие инструменты могут совершать вращательное, возвратно-поступательное,

колебательное движение, но могут быть и неподвижными, в то время как изрезаемый материал находится в движении в машине.

КОНСТРУКЦИИ И РАБОТА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ МАШИН

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

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

Рамная центробежная свеклорезка (рисунок 1.1) служит для изрезывания свеклы в стружку с целью извлечения из нее сахарозы.

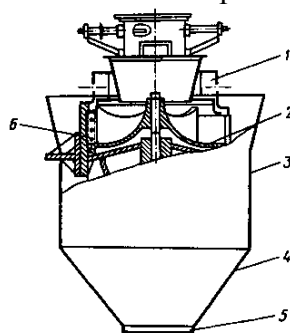


Рисунок 1.1 – Рамная центробежная свеклорезка:

1 – загрузочный бункер; 2 – ножевая рамка; 3 – корпус; 4 – коническое днище; 5 – люк; 6 – трёхлопастная улитка

Принцип действия свеклорезки заключается в следующем. Свекла загружается в свеклорезку через загрузочный бункер, увлекается вращающейся улиткой и под действием центробежной силы прижимается к режущей кромке ножей, которыми изрезывается в стружку. Свекловичная стружка через проемы ножевых рам выпадает в пространство между корпусом свеклорезки и кожухом и затем через люк поступает на дальнейшую переработку.

Для замены ножей ножевую раму поднимают и заменяют глухой рамой без ножей. Для очистки ножей применяют продувку паром или сжатым воздухом.

Измельчитель для мяса – куттер (рисунок 1.2) работает следующим образом. Мясо из корыта автоматически загружается во вращающуюся чашу, изготовленную из нержавеющей стали, и режется инструментом, выполненным в виде фрезы и установленным в чаше.

Скорость резки составляет 130 м/с. Процесс проводят под вакуумом. Материал корпуса и крышки куттера делает процесс резания практически бесшумным. Фарш выгружается периодически с помощью автоматической наклонной заслонки, которая вытесняет фарш из чаши в приемное корыто. Уплотнение крышки и корпуса достигается с помощью специальных полимерных прокладок. Смена режущего инструмента происходит менее чем за 3 мин.

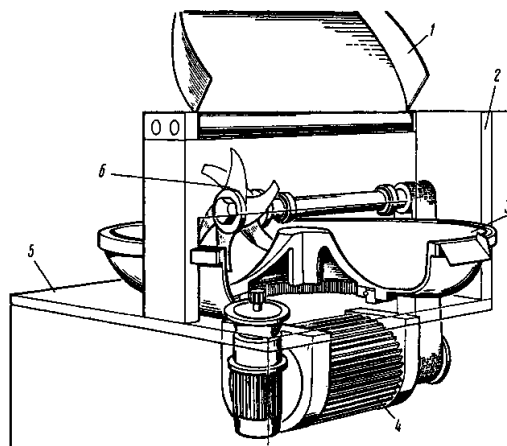


Рисунок 1.2 – Измельчитель (куттер) для мяса:

1 – крышка; 2 – стенка; 3 – чаша; 4 – привод; 5 – станина; 6 – режущий инструмент

Измельчитель для мяса – волчок (рисунок 1.3) – состоит из станины 1, привода 8, загрузочной горловины 6, приемного 5 и рабочего 3 цилиндров, режущего (ножевого) механизма 4 и устройств для подачи к нему сырья—червяка 2 в волчках с обычной подачей сырья, а также червяка 2 и шнека 7 в волчках с принудительной подачей.

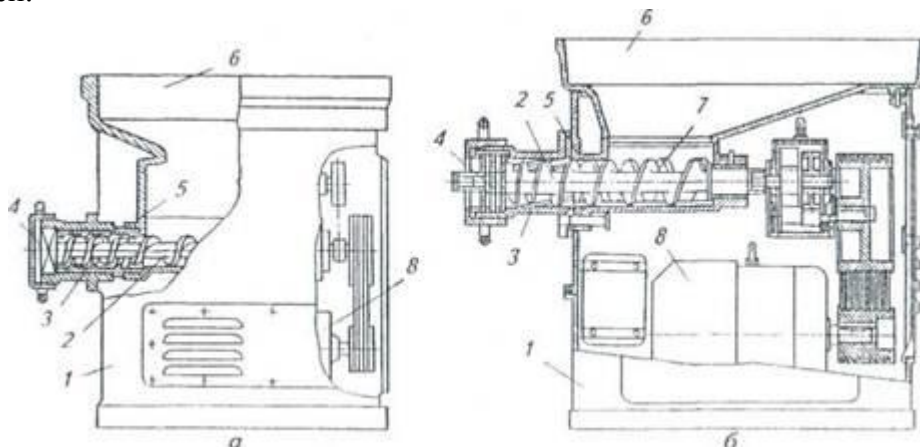


Рисунок 1.3 – Схемы волчков с обычной (а) и принудительной подачей сырья в рабочий цилиндр (б):

1 – станина; 2 – шнек рабочий (червяк); 3 – цилиндр рабочий; 4 – механизм режущий; 5 – цилиндр приемный; 6 – горловина загрузочная; 7 – шнек подачи; 8 – привод

Мясо через загрузочную горловину попадает в приемный цилиндр, откуда червяком (или шнеком и червяком) подается в рабочий цилиндр. Под действием давления, обусловленного уменьшением шага витков червяка, мясо проталкивается через последовательно собранные ножи и решетки, и выходит из волчка в измельченном виде. Внутри рабочей камеры имеются ребра, которые направляют движение мяса, предотвращая его смятие.

Принудительная подача сырья в рабочую часть машины обеспечивает постоянную загрузку режущего механизма (на уровне заданной производительности) и

высокую удельную производительность. Уменьшается удельный расход энергии на измельчение по сравнению с подачей вручную или самотеком. Однако конструкция волчка с принудительной подачей более сложная, следовательно, стоимость его возрастает, так что принудительная подача мяса дает положительный эффект только при большой производительности волчков. Чем длиннее рабочий шнек (червяк), тем меньше мяса вытесняется обратно в загрузочную часть и выше производительность волчка: при большом числе витков образуется как бы лабиринт, что снижает возможность передавливания фарша из зоны давления в зону загрузки.

Важнейшая часть волчка — режущий механизм. Он может быть плоским и коническим. Наиболее распространены волчки с плоским режущим механизмом, который набирают из ножей и решеток (как для мясорубок) с типичными вариантами набора и схем сборки ножей и решеток, рисунок 1.4. Обычно решетка неподвижна, а нож вращается. Плоские режущие механизмы проще в исполнении и удобнее в работе — легче регулировать степень прижатия решеток и ножей, от которой зависит эффективность измельчения мяса. Конические режущие механизмы сложнее в исполнении, но позволяют снизить расход энергии для измельчения мяса.

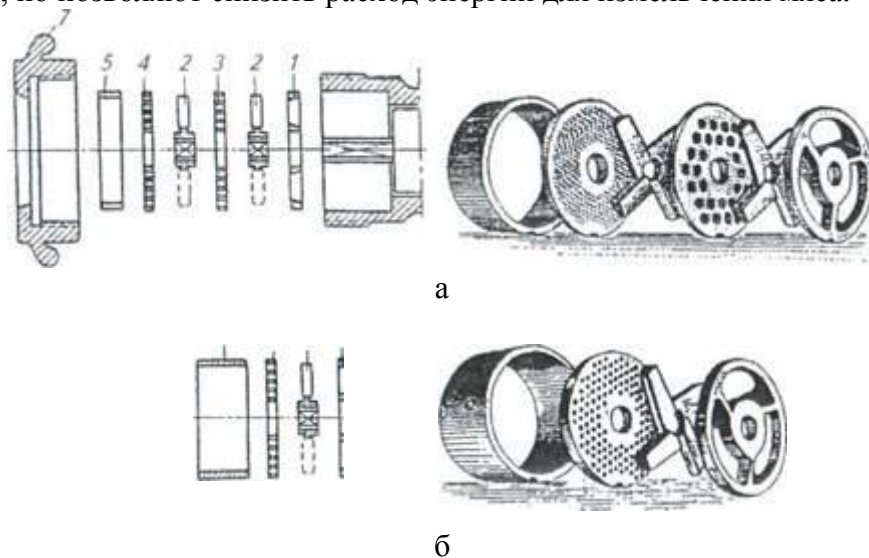


Рисунок 1.4 — Схемы сборки режущего механизма волчка:

а — для мелкого измельчения; б — для крупного измельчения: 1 — решетка приемная; 2 — нож двусторонний; 3 — решетка крупная; 4 — решетка мелкая; 5 — приемное кольцо узкое; 6 — приемное кольцо широкое; 7 — гайка зажимная

Производительность волчка и удельный расход энергии можно регулировать путем комплектования режущего механизма, который может быть набран из 1 — 6 режущих плоскостей. При мелком и среднем измельчении мяса устанавливают больше режущих плоскостей.

При грубом измельчении сырья режущий механизм собирают в такой последовательности: на палец рабочего шнека надевают односторонний приемный нож, затем решетку, которую шпонкой неподвижно закрепляют в рабочем цилиндре. Нож вращается вместе с рабочим шнеком, заточенные лезвия ножа прилегают к решетке. Поверхности решетки и ножа шлифуют для более плотного прилегания, что улучшает условия резания.

Режущий механизм необходимо собирать так, чтобы измельчение было вначале более грубым, затем более тонким. Это обеспечивает меньшие затраты энергии, и соответственно измельчаемый продукт меньше нагревается. В ножевом механизме с четырьмя режущими плоскостями на палец рабочего шнека надевают приемную решетку, двусторонний нож, крупную решетку с отверстиями большего диаметра, например 16 или 25 мм, второй двусторонний нож, мелкую решетку и прижимное кольцо. Ножи и решетки умеренно затягивают зажимной гайкой.

Производительность волчка определяется пропускной способностью режущего механизма, которая, в свою очередь, зависит от диаметров решетки и отверстий в ней. Диаметр решетки является характеристикой, по которой различают волчки (например, волчок с решеткой диаметром 120 мм, или 120 - миллиметровый волчок). В волчках отечественного производства приняты решетки диаметрами 82, 120, 160, 220 мм, зарубежных – 100, 130, 160, 200 и 300 мм. Решетки изготавливают с отверстиями диаметрами 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 25 мм (иногда 5, 9 и 13 мм).

Производительность режущего механизма зависит от числа перьев на ножах. Наиболее распространены крестообразные ножи, т.е. с четырьмя перьями. С увеличением числа перьев на ноже производительность волчка возрастает, если при этом не снижается степень использования решетки (перья ножей не перекрывают слишком большую площадь решетки).

Производительность волчка регулируют путем изменения частоты вращения ножей. Чем выше скорость резания, тем меньше усилия резания и лучше качество среза, но при этом значительно повышается температура в зоне контакта режущей части инструмента с продуктом. Кроме того, при увеличении скорости резания на поверхности соприкосновения ножа и решетки резко возрастает удельное давление, что обеспечивает более благоприятные условия резания жесткой соединительной ткани. При неправильной сборке режущего механизма волчка, неровной поверхности решеток, плохой заточке ножей и решеток в режущей плоскости образуются зазоры. При работе волчка в них забиваются кусочки мяса, точнее соединительной ткани, что приводит к «прокручиванию» ножа без резания и нагреванию фарша вследствие трения.

Правильная работа режущего механизма обеспечивается при плотной затяжке ножей и решеток. Для этого гайку-маховик затягивают ключом до отказа, а затем отпускают примерно на треть оборота. Гайку-маховик не следует сильно затягивать, так как резание мяса на волчке не должно сопровождаться большими усилиями сжатия, которые могут привести к выделению из фарша жидкой фракции.

Жирное мясо на волчке плохо измельчается, перетирается, медленно проходит, особенно если температура его высокая. В этом случае лучше использовать куттер.

При работе волчка мясо и жир служат смазкой для режущего механизма, шнека и цилиндра. В связи с этим не рекомендуется включать волчок до загрузки.

Неисправность в работе волчка определяют по степени измельчения мяса. При правильной сборке режущего механизма и хорошей заточке ножей и решеток фарш заполняет все отверстия решетки, вытекает плавно, ровной струей и заметно не нагревается. При неисправной работе волчка, затупленных ножах и решетках часть отверстий остается незаполненной, струя фарша может быть прерывистой, зигзагообразной.

Полученный фарш направляют на изготовление полуфабрикатов или охлаждение. Не лишним будет напомнить, что мясо при измельчении обычно значительно обсеменяется микроорганизмами и заметно быстрее портится при

хранении. Поэтому держать в цехе полуфабрикатов измельченное мясо нельзя — его сразу надо поместить в холодильник.

Задание. Рассчитать мощность на работу режущей пары типа «нож – решетка».

Тип продукта: мороженое мясо, охлажденное мясо.

Исходные данные для расчета выдаются студенту преподавателем из таблицы 1.1.

Таблица 1.1 – конструктивные параметры ножа и решетки.

№	Номинальный диаметр решетки	Диаметр отверстия	НОЖ						РЕШЕТКА					
			d ₁ H11	b H11	d ₂ h13	d ₃ f13	S _H h13	L _H h13	D h13	d H11	B B11	L _p h13	S _p h13	Тип
1	82	4	16	12	73	22	10	14	82	22	6	79	7,5-8	0,5
		2,5												
2	82	1,5												
		3	21	17	103	28	14	18	114	28	8	110	10-12	0,5
3	114	5												
		3												
4	114	2	23	19	119	32	15	20	130	32	10	126	11-14	1
		4												
4	130	8												
		18	32	23	147	42	17	25	160	42	10	155	13-15	1
6	130	10												
		13												
7	160	10	40	32	183	52	22	30	200	52	16	193	15-19	1
		8												
8	160	13												
		18	50	36	230	63	26	35	250	63	16	243	18-22	1
9	200	13												
		10												
10	200	18	50	36	230	63	26	35	250	63	16	243	18-22	1
		20												
11	250	13												
		18	50	36	230	63	26	35	250	63	16	243	18-22	1
12	250	20												
		30												

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Мощность для работ пары определяется как:

$$N = N_1 + N_2 + N_3; \quad (1)$$

где: N_1 – мощность на резание продукта, Вт;

N_2 – мощность на преодоления сил трения между ножом и решеткой, Вт;

N_3 – мощность на продавливание шнеком продукта через решетку, Вт.

В расчете мощности на преодоление сил трения продукта о шнек не учитывается.

1. Определение мощности на резание продукта

$$N_1 = \psi \cdot W \cdot F; \quad \text{Вт} \quad (2)$$

где: ψ – коэффициент использования режущей способности машины (0,7÷0,8);

W – удельный расход энергии на перерезывание единицы площади сечения продукта, кДж/м² (5,0÷8,0 для мяса);

F – режущая способность механизма, м²/с ;

Режущая способность механизма определяется по формуле:

$$F = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot (K_1 \cdot \varphi_1 + K_2 \cdot \varphi_2 + \dots + K_z \cdot \varphi_z) \cdot n / 60; \quad (3)$$

где: D – диаметр решеток, м;

K_z – число зубьев на каждом ноже (для разных режущих плоскостей может быть различным);

φ_z – коэффициент использования площади решеток под отверстия для прохода продукта (обычно принимают $\varphi = 0,7 \div 0,8$, хотя может быть и $\varphi_{\min} \geq 0,25$ для крупных отверстий); следует помнить, что размещение отверстий на решетке выполняется по ГОСТу, таблица 1.2.

$$\varphi = \frac{F_{\text{отв}}}{F_{\text{реж}}}; \quad (4)$$

n – число оборотов ножей, об/мин .

2. Определение мощности на преодоление трения между вращающимися ножами и неподвижными решетками:

$$N_2 = \pi \cdot \omega \cdot P_{\text{зам}} \cdot f \cdot \sum_{z=1}^z b_z (r_{z \max}^2 - r_{z \min}^2); \quad (5)$$

где: n – частота вращения ножа, которая определяется по формуле: $\omega = \pi \cdot n / 30$, 1/с;

$P_{\text{зам}}$ – необходимое давление затяжки (2÷3 МПа);

b_z – ширина контакта ножей и решеток, м;

(в расчете принять $0,3S_H$, см .черт.1);

$r_{z \max}^2, r_{z \min}^2$ – расстояние концов лезвий ножей от оси вращения, м;

f – коэффициент трения ножей о решетки (без смазывания соком и жировой тканью, принять 0,1÷0,2).

2. Определение мощности на продавливание шнеком продукта через решетку:

$$N_3 = P_0 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot v_{oc} \cdot (1 + \psi_1); \quad (6)$$

где: P_0 – рабочее давление для продавливания продукта через решетки, Н/м²;
определяется по формуле:

$$P_0 = 4 \cdot \tau \cdot \sum_{i=1}^i (d_i^{-1}); \quad (7)$$

здесь: τ – напряжение среза продукта, н/м (для охлажденного и размороженного мяса $\tau = 0,3 \div 0,4$ Н/м), (для мороженого бескостного мяса $\tau = 3 \div 4$ Н/м);

d_i – диаметр отверстий i -й решетки, м (выбирается согласно ГОСТ 28533-90)
(i – количество отверстий)

v_{oc} – скорость продавливания, м/с;

определяется по формуле:

$$v_{oc} = \pi \cdot \omega \cdot (r_{\max} - r_{\min}) \cdot K_0 \cdot \operatorname{tg} \beta_1^*; \quad (8)$$

здесь: K_0 – коэффициент проворачивания продукта вместе со шнеком ($0,5 \div 0,8$);

β_1^* – угол подъема последнего винта шнека ($9^\circ \div 12^\circ$);

ψ_1 – коэффициент, учитывающий потери мощности на преодоление трения в рабочей камере ($1,5 \div 2,6$).

Рекомендации по выполнению рабочего чертежа ножа и решетки

Нож и решетку выполняют на формате А4 (отдельно) согласно ГОСТ 28533-90 с простановкой регламентируемых размеров по номинальному диаметру режущей пары. Отверстия в решетке до 5 мм расположить по ромбической сетке с углами $60^\circ \div 120^\circ$. Отверстия большего диаметра – по концентрическим окружностям (см. рисунок 1.5)

При размещении отверстий необходимо выполнять условие:

$$F_{отв} / F_{реш} = 0,7 \div 0,8 \quad (9)$$

$F_{отв}$ – площадь всех отверстий

$F_{реш}$ – площадь решетки (расчет, привести в работе)

Чертежный штамп – стандартный 185х55мм.

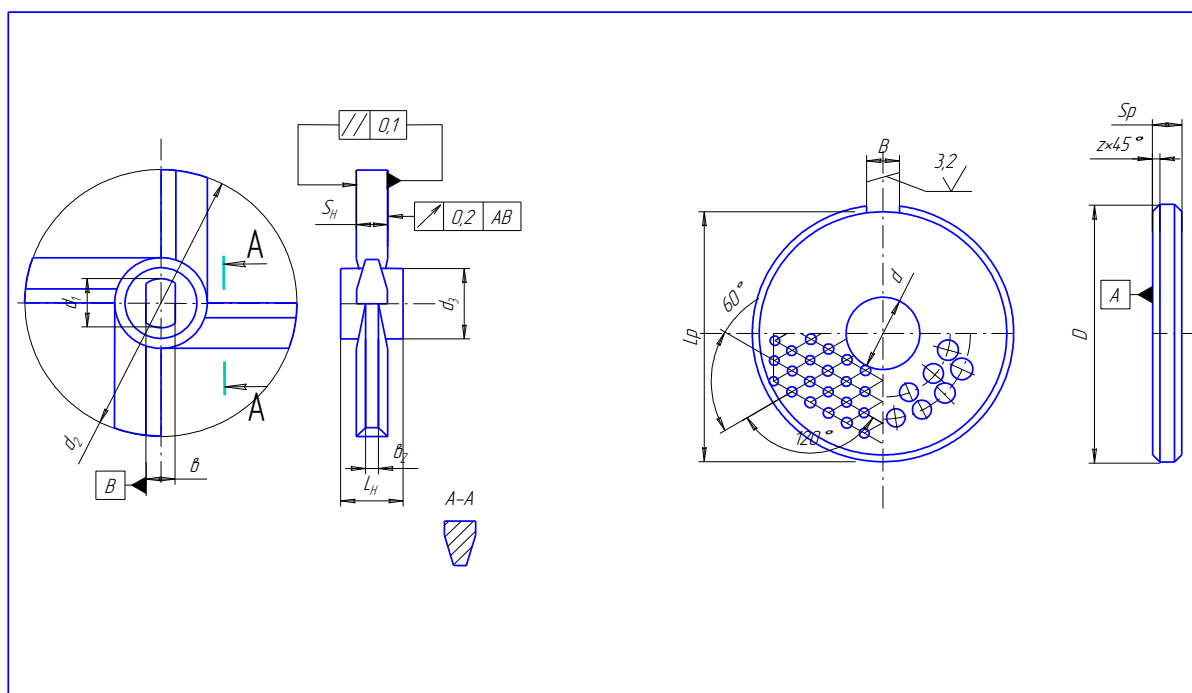


Рисунок 1.5 – Чертеж ножа и решетки.

Таблица №1.2 – Размещение отверстий по поверхности решетки.

Число шестиугольников или окружностей	Разбивка по шестиугольникам							Разбивка по окружностям	
	число отверстий по диагонали шестиугольника	общее число отверстий без учета сегментов	число отверстий			число отверстий во всех сегментах	общее число отверстий в аппарате	число отверстий по наружной окружности	общее число отверстий
			в 1-м ряду сегмента	во 2-м ряду сегмента	в 3-м ряду сегмента				
1	3	7					7	6	7
2	5	19					19	12	19
3	7	37					37	18	37
4	9	61					61	25	62
5	11	91					91	31	93
6	13	127					127	37	130
7	15	169	3			18	187	43	173
8	17	217	4			24	241	50	223
9	19	271	5			30	301	56	279
10	21	331	6			36	367	62	341
11	23	397	7			42	439	69	410
12	25	469	8			48	517	75	485
13	27	547	9	2		66	613	81	566
14	29	631	10	5		90	721	87	653
15	31	721	11	6		102	823	94	747
16	33	817	12	7		114	931	100	847
17	35	919	13	8		126	1045	106	953
18	37	1027	14	9		138	1165	113	1066
19	39	1141	15	12		162	1303	119	1185
20	41	1261	16	13	4	198	1459	125	1310
21	43	1387	17	14	7	228	1615	131	1441
22	45	1519	18	15	8	246	1765	138	1579
23	47	1657	19	16	9	264	1921	144	1723

Контрольные вопросы

1. С какой целью применяют измельчение материалов? 2. На какие виды подразделяется измельчение в зависимости от начальных и конечных размеров наибольших кусков материала? 3. Чем характеризуется процесс измельчения? 4. Какие типы измельчающих машин применяют в промышленности? 5. Перечислите требования к измельчающим машинам. 6. Каков принцип действия волчка для измельчения мяса? 7. Каков принцип действия свеклорезки? 8. Какие ножи применяются для измельчения пищевых продуктов? 9. Какие виды резания вы знаете? 10. Перечислите требования к измельчающим машинам.

Тема 2 Изучение процесса измельчения и сортирования на примере молотковой дробилки.

Цель занятия: Определение зависимости производительности дробилки от диаметра отверстий в перфорированной решетке молотковой дробилки.

Основные понятия, методика выполнения работы, оборудование подробно приведены в учебном пособии [1].

Оборудование:

1. Системный блок с CD-ROM с программным обеспечением «MSoffice», Flash Player 9, Internet Explorer 6.0/
2. Монитор
3. Мышь
4. Клавиатура
5. CD-диск с Программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ «Процессы и аппараты пищевых производств».

Тема 3. Изучение процесса прессования на примере гидравлического пресса

Цель занятия: Изучить принцип действия прессов. Научиться собирать из составных частей конструкцию гидравлического пресса.

В пищевой промышленности применяют presses самых разнообразных конструкций. Их можно разделить на две большие группы: гидравлические и механические.

Гидравлический пресс работает по законам гидравлики. Основной узел пресса — рабочий цилиндр, внутри которого перемещается плунжер, соединенный с подвижной плитой. Плунжер приводится в движение жидкостью высокого давления. Прессуемый материал помещается между подвижной и неподвижной плитами.

Гидравлические presses широко применяют при переработке фруктов и овощей с целью получения соков, для производства ликеров и эссенций.

На рисунке 3.1 представлена схема установки для переработки фруктов на сок.

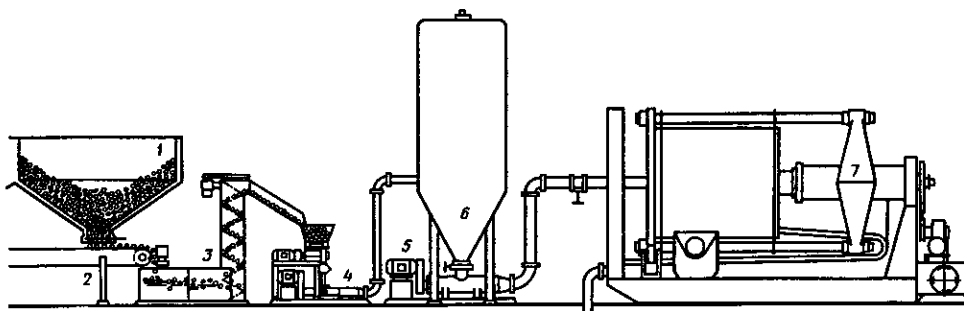


Рисунок 3.1. – Установка для переработки фруктов на сок:

- 1 – бункер; 2 – конвейер; 3 – установка для мойки и удаления косточек; 4 – насос-измельчитель; 5 – насос для мезги; 6 – бункер-накопитель; 7 – пресс

В сахарной промышленности для обезвоживания жома применяют наклонные горизонтальные и вертикальные шнековые presses с одно- и двусторонним отжатием.

Прессы двустороннего отжатия более производительны, чем одностороннего, и позволяют отжимать жом до более низкой конечной влажности.

Наклонный шнековый пресс (рисунок 3.2.) предназначен для отжатия жома. Жом поступает в сепаратор, где из него частично удаляется вода, а затем в пресс, где отжимается основная часть вод

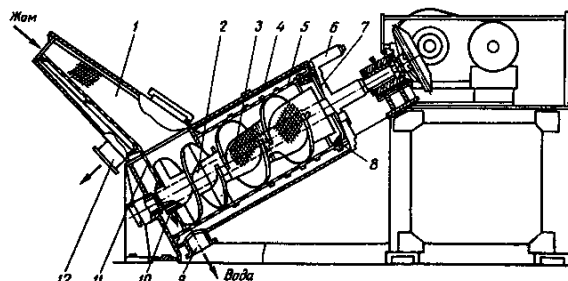


Рисунок 3.2. – Наклонный шнековый пресс:

1 – сепаратор; 2 – вал шнека; 3 – сито; 4 – отжимной шнек; 5 – цилиндрическое сито; 6 – регулировочное приспособление; 7 – отверстие для выгрузки жома; 8 – коническое сито; 9 – штуцер; 10 – отверстие для удаления воды; 11 – дополнительная поверхность фильтрации; 12 – штуцер для отвода воды

Часть отжатой воды проходит через цилиндрическое сито и удаляется через штуцер 9, другая часть воды проходит через сито 3 в полую часть вала шнека и удаляется через отверстие 10 и штуцер 9. Отжатый жом выгружается через кольцевые отверстия между коническим ситом и корпусом отжимного шнека. Размер отверстия влияет на продолжительность пребывания жома в прессе и степень отжатия воды и регулируется приспособлением 6.

Горизонтальные и наклонные прессы имеют аналогичную конструкцию. В отличие от горизонтальных прессов в наклонных не происходит частичного смешения отжатого жома с удаляемой жидкостью.

Вертикальный шнековый пресс показан на рисунке 3.3. Основная часть пресса — полый вертикальный шнек, установленный в специальных траверсах. На кожухе шнека с противоположных сторон расположены контропасти, которые входят в промежутки между лопастями шнека и препятствуют вращению материала вместе со шнеком. Контропасти имеют отверстия, через которые проходит пар, подводимый по трубопроводу.

Рисунок 3.4. – Двухшнековый пресс:
1 – загрузочный бункер; 2– шнек; 3– крышка; 4– привод

Показатели работы пресса зависят от равномерности питания его жомом. При недостаточной загрузке пресса жомом влажность жома увеличивается.

На степень отжатия жома оказывают основное влияние форма проходной части прессов и время пребывания жома в прессе.

Штемпельные и ротационные прессы применяют для брикетирования сухого жома. Ротационные прессы имеют плоскую или цилиндрическую матрицу. В штемпельных прессах матрица является неподвижной, а пуансон (штемпель) совершает возвратно-поступательное движение. В таких прессах наблюдаются большие инерционные силы при прессовании, поэтому их устанавливают на массивных фундаментах.

Одна из конструкций ротационного пресса с горизонтальной плоской матрицей показана на рисунок 4.5. Основная часть пресса — прессующий узел, состоящий из матрицы и прессующих валков, устройства для среза гранул и полого вала. Матрица установлена на полом вала и вращается вместе с ним. Конический распределитель служит для направления сухого материала под валки.

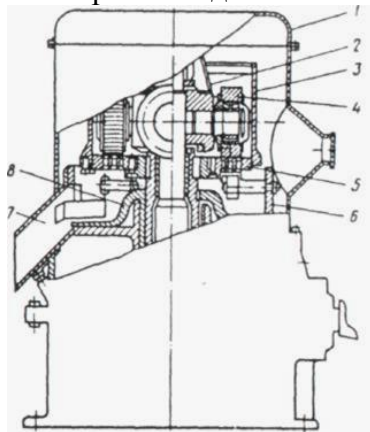


Рисунок 3.5. Ротационный пресс:
1 – кожух; 2– распределитель материала; 3– бункер; 4– прессующий валок; 5– матрица;
6 – устройство для среза гранул; 7 – выгрузной лоток; 8 – лопасть

Спрессованный материал на выходе из отверстия матрицы срезается ножом и лопастью направляется в выгрузочный лоток. Зазор между матрицей и лезвием ножа должен быть не более 0,5 мм. Необходимо, чтобы нож перекрывал рабочую ширину матрицы; лезвие его должно располагаться параллельно нижней плоскости матрицы. Угол наклона ножа к горизонтальной плоскости составляет 30°.

Для срезания брикета устанавливают четыре ножа. Если необходимо получить более крупные брикеты, количество ножей уменьшают.

Дисковый пресс, используемый в производстве прессованного сахара-рафинада, состоит из следующих основных узлов: набивной коробки для приема рафинадной каши; диска с матрицами и пуансонами; упора для прессования брусков рафинада; механизма для натирки стола; механизма для подачи сахара в матрицы; механизма для выталкивания отпрессованных брусков рафинада; механизма для подъема пуансонов; механизма для поворота диска, привода и станины.

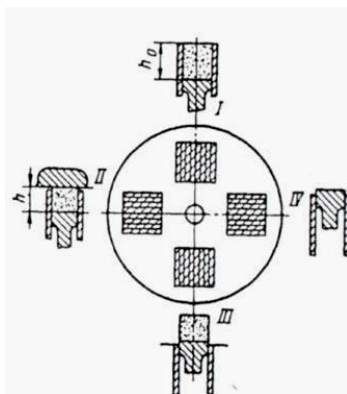


Рисунок 3.6. – Схема работы дискового пресса

Стол пресса совершает вращательное движение против часовой стрелки в горизонтальной плоскости (рисунок 3.6). Во время одного оборота стол делает четыре остановки, при которых совершаются последовательно следующие операции: I– заполнение матрицы рафинадной кашкой; II– формование при движении пуансона вверх; III– выталкивание брусков сахара пуансоном из матрицы; IV– очистка пуансона от остатков сахара и натирка мастикой.

Матрицы пресса выполнены в виде латунных коробок, которые вставлены в отверстия диска.

Из **таблетирующих машин** наибольшее распространение в пищевой промышленности получили ротационные. В этих машинах материал прессуется пуансонами, вмонтированными в ротор по его окружности на двух уровнях. Во время работы пуансоны перемещаются вдоль вертикальной оси благодаря копирам и прессующим роликам, которые предназначены для их верхнего и нижнего рядов. При вращении ротора пуансоны, двигаясь в матрице, заполненной предварительно таблетлируемым материалом, сжимают его с двух противоположных сторон. Таблетка выталкивается из матрицы нижним пуансоном при выведенном верхнем.

Ротационные таблетирующие машины делятся на два класса. В машинах первого класса пуансоны катятся по копирам, в машинах второго класса скользят. Различают машины однократного и многократного действия, в которых каждая пара пуансонов за один оборот ротора формирует соответственно одну или несколько таблеток.

Гранулирование может осуществляться тремя способами: на специальных устройствах –грануляторах, окатыванием и в псевдоожиженном слое.

Двухшнековый формовочный пресс (рисунок 3.7) используют в производстве конфет, в частности пралине, методом формования конфетной массы через фильеру с калиброванными отверстиями. Пресс создает давление в конфетной массе и продавлиывает ее через фильеру. Непосредственно на выходе из фильеры жгуты конфетной массы рубятся на гранулы эксцентрично установленными ножами гранулятора (рисунок 3.8), расположенными с определенным зазором у фильеры.

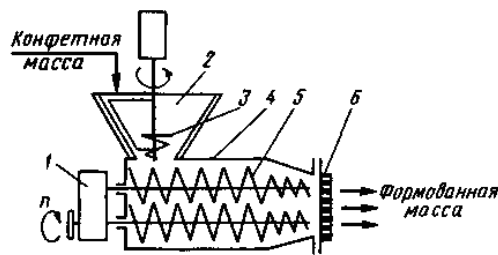


Рисунок 3.7. – Двухшнековый формовочный пресс:
1 – привод; 2 – загрузочный бункер; 3 – дозирующий шнек; 4 – корпус пресса;
5 – шнек; 6 – фильера

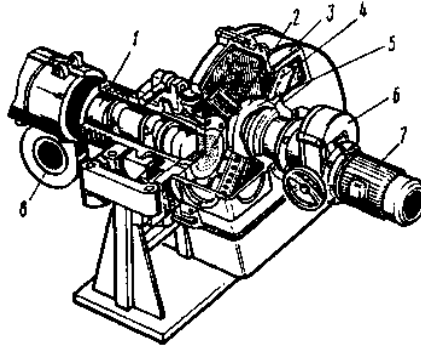


Рисунок 3.8. – Установка для гранулирования:
1 – подающий шнек; 2 – фильера; 3 – кожух гранулятора; 4 – рубящий нож;
5 – вал; 6 – редуктор; 7 – электродвигатель; 8 – вентилятор

Фильера представляет собой плоский металлический диск с отверстиями, через которые продавливается прессуемая масса. Форма отверстия фильеры определяет вид изделия. При продавливании через отверстия фильеры масса принимает определенную форму. Течение массы в отверстиях фильеры подобно течению очень вязкой жидкости.

Давление, создаваемое шнеком, зависит от гидравлического сопротивления в отверстиях фильеры. Сопротивление определяется консистенцией теста, формой и размером отверстий. Рубящие ножи закреплены на вращающемся валу, имеющем собственный привод. Эксцентричное расположение ножевого крыла позволяет заполнить материалом все сечение фильеры. Для регулировки зазора между фильерой и рубящими ножами ножевой вал может перемещаться в осевом направлении. Для этого кожух гранулятора может быть отведен в сторону вместе с приводом. Технологическая линия для производства экструдированных пищевых продуктов (панировочные сухари, суповые добавки, сухие завтраки и т. п.) показана на рисунке 4.9.

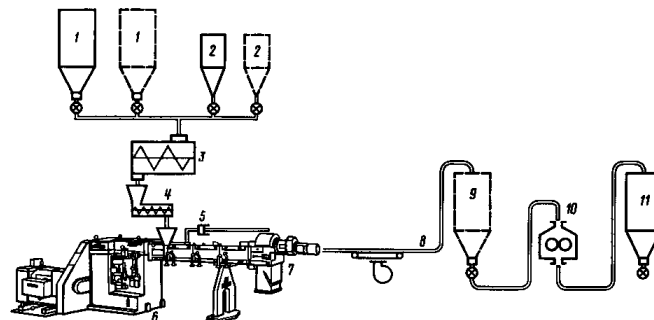


Рисунок 3.9. – Схема получения экструдированных продуктов

В линию входят бункер 1 для основного сырья, бункер 2 для вкусовых добавок, смеситель 3, шнековый дозатор 4, экструдер 6, гранулятор 7, насос-дозатор 5, а также дополнительное оборудование в зависимости от вида получаемого продукта – охладитель 8, промежуточный бункер 9, накопительный бункер 11 (сушильная печь 10, жарочная ванна, ароматизатор и другое оборудование).

Процесс экструзии проводят в экструдерах с одним или несколькими шнеками, установленными в одном корпусе. Технологическая часть экструдера состоит из корпуса, в котором вращаются один или два шнека, смесительных дисков, разгрузочных устройств, приспособления для смены набора фильтров. Корпус и шнеки могут быть выполнены из отдельных секций. Каждая секция имеет сверления для установки термодпар и датчиков давления. Корпус, как правило, обогревается электрическими нагревателями сопротивления, а шнеки охлаждаются при необходимости водой, циркулирующей через отверстия в секциях корпуса и в пустотелых валах шнека.

Корпус экструдера, шнеки, смесительные элементы, а также загрузочную секцию изготавливают из высокопрочных износостойких сталей (азотированные стали, содержащие хром и никель). Сборные шнеки позволяют собирать последовательно зоны загрузки, смешения, пластификации и экструзии. Особенности этих зон — технологическое назначение их и различие физико-химических свойств материала по длине шнека.

Конструкция загрузочных устройств экструдеров зависит от вида материала. Для загрузки сыпучей смеси с небольшой насыпной массой ($100...400 \text{ кг/м}^3$) применяют воронкообразные бункера с ворошителями. Ворошитель представляет собой вертикальный вал, к которому приварены наклонные лопатки, образующие как бы червяк с прерывистой навивкой для разрыхления материала. Нижняя часть вала может заканчиваться червячным питателем. Для загрузки пастообразных, влажных и порошкообразных материалов, обладающих повышенной адгезией, применяют одночервячные и двухчервячные загрузочные устройства.

Схема одношнекового экструдера показана на рисунке 3.10.

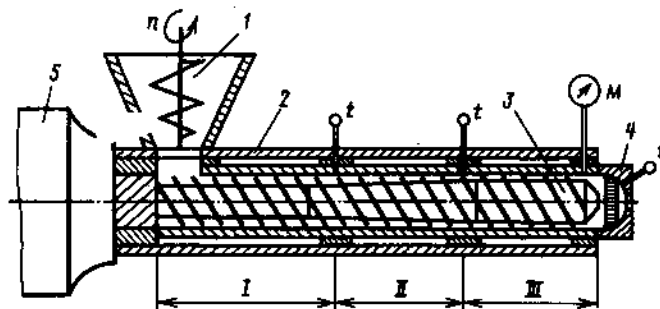


Рисунок 3.10. –Схема одношнекового экструдера:

1 – загрузочная воронка; 2 – корпус; 3 – шнек; 4 – фильера; 5 – привод;
t – термодпары; М – датчик давления

Экструдер состоит из узла загрузки 1, корпуса 2, шнека 3, сменной матрицы (фильеры) 4 и привода 5 с системой управления. Диаметр шнека составляет $50...250 \text{ мм}$, длина – от 1 до 20 диаметров. Форма профиля витка прямоугольная или трапецеидальная. На рисунке 4.11 зона I соответствует материалу в увлажненном состоянии, II – в пластическом состоянии, в зоне III материал представляет собой аморфную текучую массу.

Показатель работы экструдера – его эффективность, которая определяется отношением часовой производительности к единице потребляемой мощности. Зная эффективность экструдера, можно рассчитать при известной мощности привода максимальную производительность или при заданной производительности – необходимую мощность. Эффективность экструдера вычисляют для каждого нового перерабатываемого материала. Сопоставление эффективности различных машин при переработке одного и того же материала позволяет выбрать оптимальную конструкцию экструдера. Потребляемая мощность зависит от типа привода экструдера. Зная напряжение и силу тока, можно рассчитать мощность экструдера по формуле $N=UI$, где U – напряжение; I – сила тока.

Гранулирование окатыванием применяют в кондитерской промышленности при производстве конфет, состоящих из ядра и оболочки. Наслоение оболочки на ядро осуществляют в дражировочных грануляторах.

Дражировочный гранулятор представляет собой чашеобразный корпус с вогнутым дном, который совершает сложное движение в горизонтальной плоскости. Чаша вращается вокруг собственной оси и вокруг вала привода (рисунок 4.11). Такое сложное движение чаши создает восходящий винтообразный поток порошка. В результате происходит окатывание ядра оболочкой, что приводит к росту гранул. Ядром служат обычно кристаллы сахара, изюм и орехи, ягоды и т. д. Оболочка состоит из сахарной цедры, порошка какао, кофе и т. д.

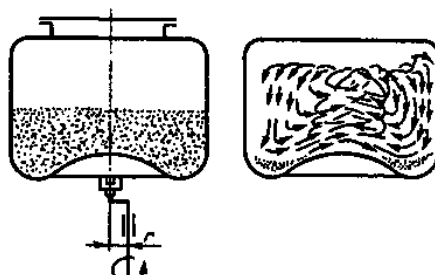


Рисунок 3.11. – Схема движения частиц в дражировочном грануляторе.

Гидравлический пресс

Гидравлический пресс – это машина для обработки материалов давлением, приводимая в действие сжимаемой жидкостью. В основе ее работы лежит закон Паскаля, который, кстати, и изобрел гидравлический пресс, только называл он его «машиной для увеличения сил».

Состоит гидравлический пресс из двух соединенных между собой сосудов различного сечения, наполненных минеральным маслом или водой. Так как давление в жидкостях передается одинаково во все стороны, то приложив некоторое давление на жидкость в малом сосуде, мы получим такое же давление в большом сосуде на единицу площади.

Но, так как сечение большого сосуда будет значительно больше, то и давление, оказываемое по всей площади сечения, будет больше во столько раз, во сколько раз больше площадь этого сечения, а, поместив между столбом жидкости в большем сосуде и неподвижной опорой некоторое тело, мы и получим давление на тело, превосходящее приложенное в несколько раз.

Например, если разница в сечениях сосуда у нас стократна, то и сила, получаемая на выходе, будет больше приложенной в сто раз. Вот таким образом и

можно увеличить силу своих рук во много раз, не применяя дополнительные источники сил.

Основной узел гидравлического пресса, рисунок 3.12– рабочий цилиндр, внутри которого перемещается плунжер, соединенный с подвижной плитой. Плунжер приводится в движение жидкостью высокого давления. Прессуемый материал помещается между подвижной и неподвижной плитами, рисунок

Сила давления, создаваемая поршнем на материал, прямо пропорциональна его площади

$$P = pF, \text{ Н}$$

где p — давление в гидросистеме, Н/м^2 ; F — площадь поршня, м^2 .

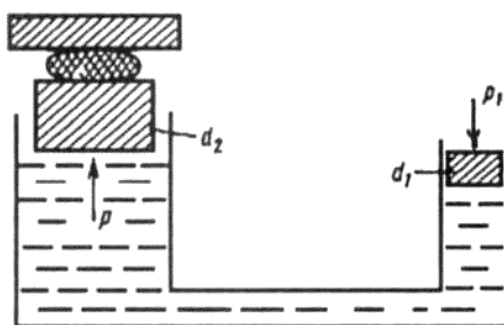


Рисунок 3.12 – Пресс гидравлический

Гидравлические прессы широко применяют для производства ликеров и эссенций, при переработке фруктов и овощей с целью получения соков.

Принцип их работы заключается в том, что если приложить некоторую силу P_1 к поршню диаметром d_1 и создать гидростатическое давление на поршень p , то согласно закону Паскаля это давление будет воздействовать на поршень большего диаметра d_2 .

Гидравлические прессы широко применяют для производства ликеров и эссенций, при переработке фруктов и овощей с целью получения соков.

Оборудование:

1. Системный блок с CD-ROM с программным обеспечением «MSoffice», FlashPlayer 9, InternetExplorer 6.0/
2. Монитор
3. Мышь
4. Клавиатура
5. CD-диск с Программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ с сайта fciorg.ru
6. Принтер

Контрольные вопросы: 1. Какое оборудование используют при обработке продуктов прессованием? 2. Каков принцип работы обезвоживающих шнековых прессов, ротационных брикетирующих прессов? 3. Опишите устройство и принцип работы гранулирующего устройства. 4. Какое оборудование применяют для получения экструдированных пищевых продуктов? 5. Опишите устройство и принцип работы экструдера. 6. Опишите устройство и принцип работы гидравлического пресса.

Тема 4. Определение расхода мощности при перемешивании.

Цель занятия: Изучение основных конструктивных элементов аппарата с мешалкой и выявление влияния условий перемешивания на затрачиваемую мощность.

Основные понятия, методика выполнения работы, оборудование подробно приведены в учебном пособии [1].

Оборудование:

1. Системный блок с CD-ROM с программным обеспечением «MSoffice», Flash Player9, Internet Explorer 6.0/
2. Монитор
3. Мышь
4. Клавиатура
5. CD-диск с Программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ «Процессы и аппараты пищевых производств».

Тема 5. Изучение процесса фильтрования.

Цель занятия: Изучить виды фильтров и фильтрующих перегородок.

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

Избыточное давление может создаваться силами давления или центробежной силой. В зависимости от способа создания перепада давления фильтровальное оборудование может быть разделено на фильтры и центрифуги.

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

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

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

Нутч-фильтр (рисунок 5.1.), работающий как под вакуумом, так и под избыточным давлением, широко распространен в малотоннажных производствах. Выгрузка из него осадка механизирована. Для сброса осадка фильтр снабжен перемешивающим устройством в виде однолопастной мешалки. Для удаления осадка из фильтра на цилиндрической части корпуса предусмотрен люк.

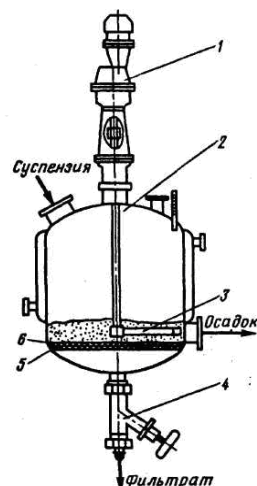


Рисунок 5.1. – Нутч-фильтр с перемешивающим устройством:
1 – привод, 2 – корпус фильтра, 3 – мешалка, 4 – спускной кран, 5 – фильтровальная перегородка, 6 – фильтровальная ткань

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

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

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

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

Рамный фильтр-пресс (рисунок 5.2.) используется для осветления виноматериалов, вина, молока и пива. Фильтрующий блок состоит из чередующихся рам и плит с зажатой между ними фильтровальной тканью или картоном. Рамы и плиты зажимаются в направляющих 6 зажимным винтом 1.5. Фильтр монтируют на металлической станине.

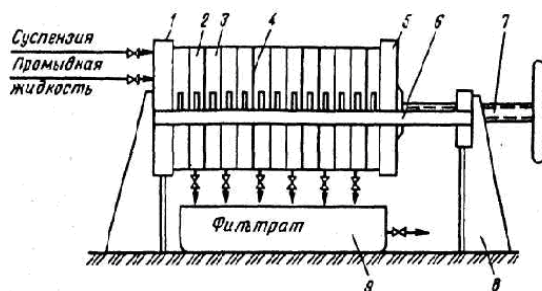


Рисунок 5.2. – Рамный фильтр-пресс:

1 – опорная плита; 2 – рама; 3 – плита; 4 – фильтровальная перегородка; 5 – подвижная плита; 6 – горизонтальная направляющая; 7 – винт; 8 – станина; 9 – желоб

Каждая рама и плита (рисунок 5.3.) имеют каналы для ввода суспензии и промывной жидкости. На поверхности плит с обеих сторон расположены сборные каналы 4, ограниченные сверху дренажными каналами, а снизу отводным каналом.

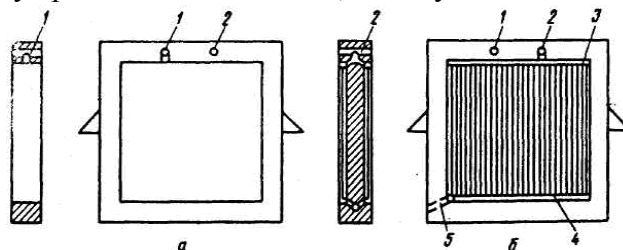


Рисунок 5.3. – Рама (а) и плита (б) фильтр-пресса:

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

При фильтровании (рисунок 3.3, а) суспензия под давлением подается через каналы в рамах и плитах и распределяется по всем рамам. Фильтрат стекает по дренажным и сборным каналам в плитах и удаляется через отводные каналы. При промывке осадка (рисунок 3.4, б) промывная жидкость под давлением вводится через соответствующие каналы, распределяется по рамам и проходит обратным током через фильтровальную перегородку, промывает осадок, а затем удаляется из фильтра через отводные каналы. При промывке отводные каналы всех нечетных плит блока должны быть закрыты.

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

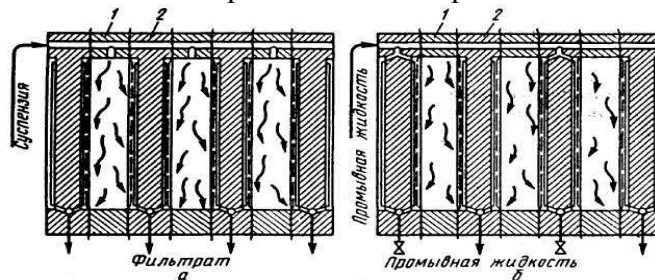


Рисунок 5.4. – Схема работы фильтр-пресса:

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

Фильтр-пресс автоматизированный камерный с механизированной выгрузкой осадка (ФПАКМ) используют для разделения тонкодисперсных суспензий концентрацией 10...500 кг/м³ при температурах до 80 °С. Является фильтром периодического действия. Он состоит из ряда прямоугольных фильтров (рисунок 3.5), расположенных вплотную один под другим, благодаря чему возрастает удельная площадь поверхности фильтрования по отношению к площади, занимаемой фильтром.

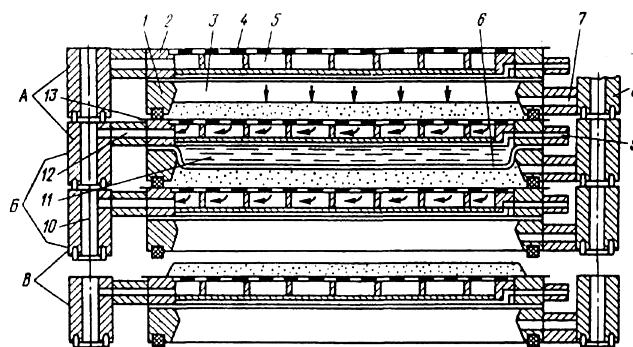


Рисунок 5.5 – Фальтр-пресс с горизонтальными камерами (ФПАКМ):

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

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

Барабанные вакуум-фильтры применяют при непрерывном разделении суспензий концентрацией 50...500 кг/м³. Твердые частицы могут иметь кристаллическую, волокнистую, аморфную, коллоидальную структуру. Производительность фильтра зависит от структуры твердых частиц и снижается в указанной выше последовательности.

Барабанные вакуум-фильтры (рисунок 3.6) выпускают с внешней и внутренней фильтрующей поверхностью, которая обтягивается текстильной фильтровальной тканью. Вращающийся горизонтальный перфорированный барабан разделен перегородками на несколько секций одинаковой формы, которые за оборот барабана проходят несколько рабочих зон: фильтрования, обезвоживания, промывки, удаления осадка и регенерации фильтровальной ткани. Устройством, управляющим работой фильтра, является распределительная головка, через которую секции барабана в определенной последовательности подсоединяют к магистралям вакуума, сжатого воздуха и промывной жидкости.

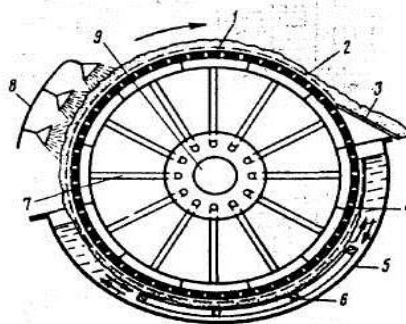


Рисунок 5.6 – Барабанный вакуум-фильтр с распределительной головкой:

- 1 – перфорированный барабан; 2 – фильтровальная ткань; 3 – ножевое устройство; 4 – секция; 5 – корыто; 6 – мешалка; 7 – труба; 8 – разбрызгиватель; 9 – распределительная головка

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

Для извлечения пива и дрожжей из дрожжевой суспензии, образующейся при седиментации в бродильных чанах и танках, применяют барабанный вакуум-фильтр, изображенный на рисунок 5.8. Фильтровальный элемент состоит из крупноячеистой сетки, на которую накладывается мелкоячеистая сетка. Для улучшения условий фильтрования на мелкоячеистую сетку намывается слой вспомогательного материала — кизельгура либо картофельного крахмала. Пивная или дрожжевая суспензия, подаваемая из бака, при вращении барабана равномерно распределяется по фильтровальной поверхности, а дрожжевой осадок (лепешка) срезается ножом, установленным над баком.

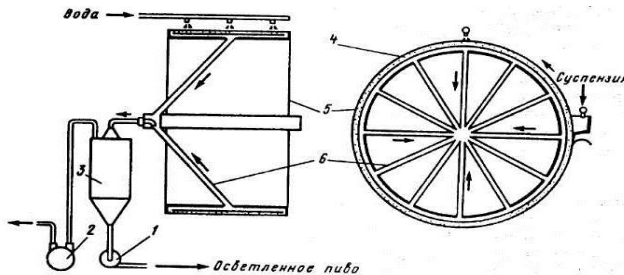


Рисунок 5.7 – Барабанный вакуум-фильтр:

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

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

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

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

Схема фильтровальной установки с барабанным вакуум-фильтром показана на рисунок 5.9. Суспензия подается в корыто фильтра, где установлена качающаяся мешалка, препятствующая сепарации крупных твердых частиц большой плотности. При погружении 30 % поверхности барабана в суспензию он подключается к вакуум-насосу. Фильтрат и промывная жидкость собираются в сборниках 3, где от них отделяется воздух, поступивший в фильтр во время обезвоживания и промывки осадка, и затем откачиваются насосами.

Дисковые фильтры (рисунок 5.8) применяют для разделения тонкодисперсных суспензий; они работают под давлением с намытым слоем вспомогательного вещества. Дисковый фильтр представляет собой вертикальную емкость с обогреваемой рубашкой. Внутри фильтра на полый вал 6 насажены дисковые металлические перфорированные фильтровальные элементы 1.5. На диски натягивают полипропиленовую или другую фильтровальную ткань, закрепляемую хомутами. Рабочее давление в фильтре достигает 0,5 МПа, в рубашке – 0,3 МПа.

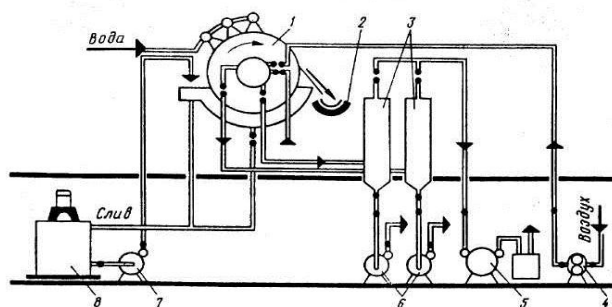


Рисунок 5.8 – Схема фильтровальной установки:

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

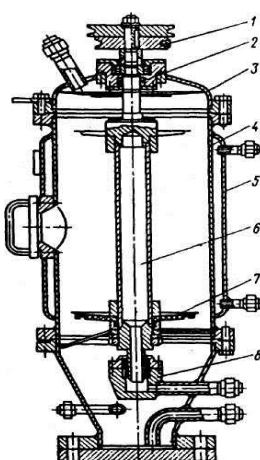


Рисунок 5.9 – Дисковый фильтр:

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

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

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

Ленточный фильтр (рисунок 5.10.) состоит из рамы, приводного и натяжного барабанов, между которыми натянута бесконечная перфорированная резиновая лента. Под ней расположены вакуум-камеры, соединенные в нижней части с коллекторами для отвода фильтрата и промывной жидкости. За счет вакуума лента прижимается к верхней части вакуум-камер. К резиновой ленте натяжными роликами 7 прижимается фильтровальная ткань, выполненная также в виде бесконечной ленты.

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

На приводном барабане фильтрующая ткань отделяется от резиновой ленты и огибает направляющий ролик. При этом осадок соскальзывает с фильтровальной ткани и падает в сборник осадка.

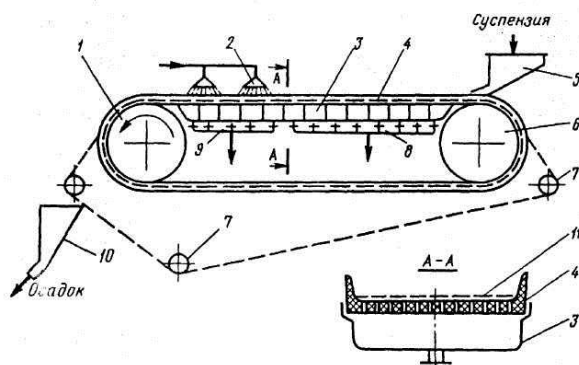


Рисунок 5.10 – Ленточный вакуум-фильтр:

- 1 – приводной барабан; 2 – форсунка; 3 – вакуум-камера; 4 – резиновая лента; 5 – лоток; 6 – натяжной барабан; 7 – натяжные ролики; 8 – коллектор для отвода фильтрата; 9 – коллектор для отвода промывной жидкости; 10 – сборник осадка; 11 – фильтровальная ткань

При прохождении фильтровальной ткани между роликами 7 она промывается, просушивается и очищается.

Фильтрующие центрифуги периодического и непрерывного действия разделяются по расположению вала на вертикальные и горизонтальные, по способу выгрузки осадка – на центрифуги с ручной, гравитационной, пульсирующей и центробежной выгрузкой осадка. Главным отличием фильтрующих центрифуг от отстойных является то, что они имеют перфорированный барабан, обтянутый фильтровальной тканью.

В фильтрующей центрифуге периодического действия (рисунок 5.11.) суспензия загружается в барабан сверху. После загрузки суспензии барабан приводится во вращение. Суспензия под действием центробежной силы отбрасывается к внутренней стенке барабана. Жидкая дисперсионная фаза проходит через фильтровальную перегородку, а осадок выпадает на ней. Фильтрат по сливному патрубку направляется в сборник. Осадок после окончания цикла фильтрования выгружают вручную через крышку 3.

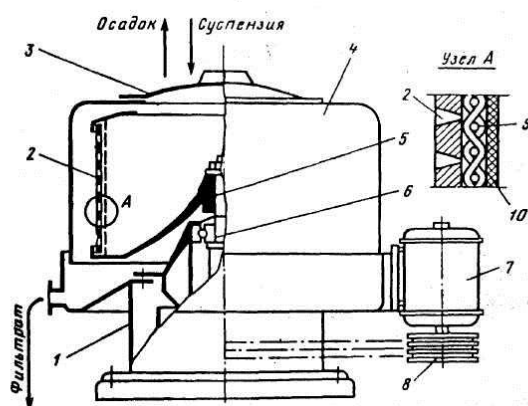


Рисунок 5.11 – Фильтрующая центрифуга периодического действия:
 1 – станина; 2 – перфорированный барабан; 3 – крышка; 4 – кожух; 5 – ступица;
 6 – подшипник; 7 – электродвигатель; 8 – шкив с ременной передачей; 9 – дренажная
 сетка; 10 – фильтрующая ткань

Конструкция фильтрующей центрифуги с перфорированным барабаном аналогична конструкции автоматической отстойной центрифуги с непрерывным ножевым съемом осадка.

В саморазгружающихся центрифугах (рисунок 3.12) осадок удаляется под действием гравитационной силы. Такие центрифуги выполняют с вертикальным валом, на котором располагается перфорированный барабан. Суспензия подается на загрузочный диск при вращении барабана с низкой частотой. Нижняя часть барабана имеет коническую форму, причем угол наклона делается большим, чем угол естественного откоса осадка. После окончания цикла фильтрования и остановки барабана осадок под действием гравитационной силы сползает со стенок барабана и удаляется из центрифуги через нижний люк.

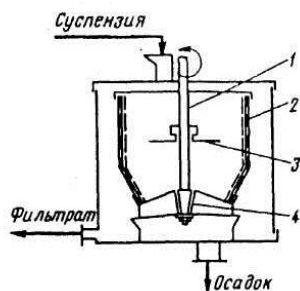


Рисунок 5.12 – Центрифуга с гравитационной выгрузкой осадка:
 1 – вал; 2 – барабан; 3 – распределительный диск, 4 – упорная втулка

В непрерывно действующих фильтрующих центрифугах с пульсирующей выгрузкой осадка (рисунок 5.13) фильтрат из центрифуги выводится непрерывно, а осадок периодически выгружается из барабана пульсирующим поршнем.

Поршень-толкатель перемещается в горизонтальном направлении в барабане с помощью штока, который находится внутри полого вала барабана. Шток вращается вместе с валом и совершает одновременно возвратно-поступательные движения (10... 16 ходов в минуту, длина каждого хода составляет примерно 0,1 длины барабана). Сервомеханизм автоматически изменяет направление движения поршня.

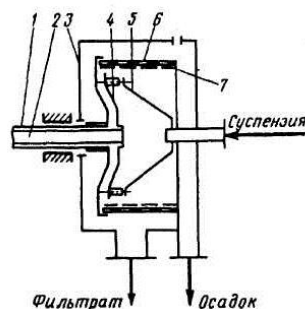


Рисунок 5.13 – Центрифуга непрерывного действия с пульсирующей выгрузкой осадка:
1 – полый вал; 2 – шток; 3 – корпус; 4 – поршень – толкатель; 5 – приемный конус;
6 – барабан; 7 – сито

Суспензия подводится по оси вала в приемный конус. В конусе имеются отверстия, по которым суспензия поступает в барабан. Внутренняя поверхность барабана покрыта фильтровальным ситом. Осадок, отложившийся на поверхности сита, промывается и перемещается поршнем к открытому концу барабана. Из барабана осадок выгружается в камеру для осадка.

Центрифуга непрерывного действия с центробежной выгрузкой осадка имеет конический перфорированный барабан, внутри которого вращается шнек со скоростью, несколько меньшей скорости вращения барабана. При вращении витки шнека снимают с барабана отложившийся осадок и перемещают его в нижнюю часть барабана, в камеру для осадка. Выгрузка осадка происходит под действием центробежной силы. При этом осадок не измельчается, его структура не изменяется, как, например, в центрифугах с ножевым срезом и выгрузкой осадка пульсирующим поршнем.

Оборудование:

1. Системный блок с CD-ROM с программным обеспечением «MSoffice», Flash Player 9, Internet Explorer 6.0/
2. Монитор
3. Мышь
4. Клавиатура
5. CD -диск с Программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ с сайта fciorg.ru
6. Принтер.

Контрольные вопросы: 1. Какое оборудование применяется для разделения неоднородных смесей? 2. Какое оборудование применяют для разделения неоднородных систем методом фильтрования? 3. Какие конструкции фильтров используют в пищевой промышленности? 4. Какие конструкции фильтрующих центрифуг применяют в пищевой промышленности? 5. Какие виды фильтрования вы знаете?

Тема 6. Определение конструктивных параметров гидроциклона

Цель работы: практическое ознакомление с установкой по пылеулавливанию и работой циклона: исследование зависимости степени очистки циклона и его гидравлического сопротивления от условной скорости газового потока в циклоне; определение оптимальной скорости газового потока и коэффициента гидравлического сопротивления циклона.

Основные понятия

При проведении ряда технологических процессов в пищевой промышленности широко используются разные методы разделения неоднородных систем. Неоднородные системы представляют собой газообразную или жидкую дисперсионную среду, в которой во взвешенном состоянии находятся твердые или жидкие частицы (дисперсная фаза).

Очистка промышленных газовых потоков от взвешенных в них твердых частиц может осуществляться, например, путем осаждения твердых частиц под действием различных сил: тяжести, центробежных, электростатических, акустических и др. Одним из наиболее простых и широко распространенных способов является центробежное разделение таких неоднородных систем. В качестве аппаратов-пылеуловителей, в которых можно осуществить этот способ, используют циклоны различных конструкций.

В зависимости от требований, предъявляемых к очистке газов, циклоны могут иметь самостоятельное применение или использоваться в качестве аппарата первой ступени очистки в сочетании с другими газоочистными аппаратами.

Процесс разделения неоднородных систем газ - твердые частицы под действием центробежных сил обуславливают разностью плотностей газового потока и твердых частиц, находящихся во вращательном движении. Центробежные силы, возникающие при этом, обеспечивают большую эффективность процесса по сравнению с процессом разделения, проходящим только в поле сил тяжести. Соотношение этих сил называют фактором разделения:

$$\Phi = P_{ц} / C_T, \quad (6.1)$$

где $P_{ц}$ - центробежная сила, отбрасывающая твердую частицу из вращающегося газового потока к стенкам циклона:

$$P_{ц} = m \cdot V^2 / R, \quad (6.2)$$

где m – масса твердой части, кг;

V – окружная скорость частицы (условно принимается равной скорости газового потока в входном патрубке циклона), м/с;

R – радиус циклона, м;

$G = m \cdot g$ – сила тяжести.

Фактор разделения характеризует увеличение разделяющей способности в условиях действия центробежной силы:

$$\Phi = m \cdot V^2 / R \cdot m \cdot g = V^2 / R \cdot g \quad (6.3)$$

Из выражения (8.3) видно, что эффективность разделения повышается с увеличением скорости газового потока и уменьшением радиуса циклона. Однако значительное увеличение скорости связано с резким возрастанием гидравлического сопротивления циклона и усилением местных завихрений, поднимающих уже осевшие на внутренние поверхности циклона твердые частицы, что приводит к ухудшению очистки газа. Обычно наиболее эффективными являются скорости газа на входе в циклон в интервале от 15 до 25 м/с или в расчёте на поперечное сечение цилиндрической части циклона в интервале от 2 до 4,5 м/с.

Работа циклона оценивается по совокупности его основных характеристик:

1. Эффективность разделения (степени очистки или коэффициента полезного действия);
2. Гидравлического сопротивления (достижения высокой степени очистки при малом гидравлическом сопротивлении).

Степень очистки можно рассчитать, зная начальную C_n и конечную C_k концентрации твердых частиц в газовом потоке, проходящем через циклон:

$$\eta = \frac{C_H - C_K}{C_H} \cdot 100 \quad (6.4)$$

$$\eta = \frac{C_{TH} - C_{TK}}{C_{TH}} \cdot 100 = \frac{C_{ТУЛ}}{C_{TH}} \cdot 100 \quad (6.5)$$

где C_{TH} , C_{TK} , $C_{ТУЛ}$ – расход твердых частиц на входе в циклон, на входе из циклона и уловленных частиц, кг/с.

Степень очистки газового потока зависит от размера и плотности твердых частиц, плотности и вязкости газового потока, от типа циклона и его геометрических размеров и, конечно, от скорости газового потока на входе в циклон. На рисунке 8.1 показана принципиальная схема работы циклона.

Запыленный воздух входит в циклон через тангенциально встроенный патрубок 2 и, приобретая вращательное движение, опускается спиралеобразно вниз вдоль внутренней поверхности стенок цилиндрической и конической частей корпуса аппарата.

Вращаясь вначале в кольцевом пространстве, образованном цилиндрической частью корпуса циклона и выхлопной трубой 3, а затем в зоне, расположенной ниже торца выхлопной трубы, газовый поток образует внешний вращающийся вихрь. При этом развиваются центробежные силы, под действием которых твердые частицы, находясь в газовом потоке и обладающие значительно большей плотностью, чем газ, отбрасываются к стенкам корпуса циклона. Движение твердых частиц по внутренней поверхности циклона к бункеру 4 обусловлено не только влиянием силы тяжести, но и воздействием силы давления газового потока, направленного вниз. Достигнув нижнего торца конической части корпуса циклона, твердые частицы поступают в бункер 4.

В конической части корпуса циклона газовый поток начинает менять направление и перемещаться вверх к выхлопной трубе, образуя внутренний вращающийся вихрь. Освобожденный от основной массы твердых частиц воздушный поток попадает в выхлопную трубу 3. Поднимаясь по ней винтообразно вверх, удаляется из циклона.

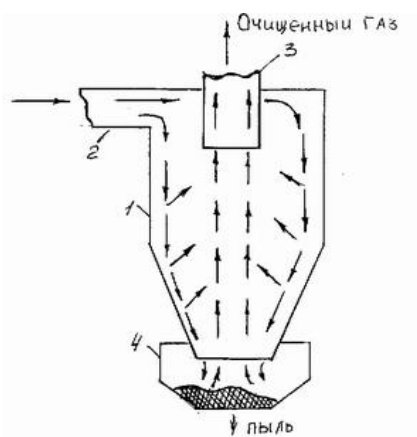


Рисунок 6.1. Схема возвратно-поточного циклона.

1 - корпус циклона, 2 - входной патрубок, 3 - выходной патрубок, 4 – бункер.

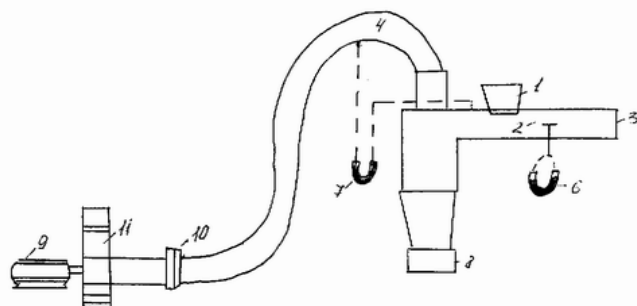


Рисунок 6.2 Схема установки.

1–бункер с твердой фазой, 2–трубка Пито, 3–всасывающая линия, 4–нагнетательная линия (относительно циклона), 5–циклон, 6, 7–дифманометры, 8–сборник уловленных частиц, 9–электродвигатель, 10–диафрагма, 11–вентилятор.

Оптимальное значение скорости газа на входе в аппарат, обеспечивающее высокую степень очистки, определяют в каждом отдельном случае с учетом свойств разделяемых неоднородных систем (например, фракционного состава твердой фазы, слипаемости твердых частиц, допустимого уноса твердых частиц и др.) и его гидравлического сопротивления.

Общее гидравлическое сопротивление циклона можно представить как сумму потерь давления:

1. при входе в циклон,
2. на сопротивление трения в корпусе циклона,
3. при переходе газового потока из внешней зоны циклона большого диаметра во внутреннюю зону (в выхлопную трубу) с повтором на 180° ,
4. на преодоление сопротивления трения в выхлопной трубе.

Пропускная способность (производительность) циклона является прямой функцией его гидравлического сопротивления. Чем меньше коэффициент сопротивления циклона, тем больше его пропускная способность.

Повышение концентрации взвешенных в потоке частиц снижает сопротивление циклона. Это обстоятельство объясняется целым рядом факторов: уменьшением турбулентности потока при наличии в нем взвешенных частиц; увеличением части энергии, идущей на транспортирование твердых частиц и уменьшение доли энергии идущей на закручивание движущей среды; эффектом дополнительного торможения вращательного движения среды осаждающихся на стенки циклона твердых частиц. Чем больше в известных пределах концентрация взвешенных в потоке частиц, тем значительно снижается сопротивление циклона.

Циклон можно устанавливать как на всасывающей, так и на нагнетательной линии. Однако для того, чтобы продлить срок службы вентилятора особенно на потоках с абразивными или липкими пылями, циклон следует устанавливать на всасывающей линии перед вентилятором. В противном случае пыль попадает в вентилятор и вызывает его преждевременный износ и поломку.

Герметичность циклона вместе с буфером – необходимое условие их нормальной работы, даже незначительные подсосы воздуха через бункер резко снижает эффективность очистки. Производительность циклона тем выше, чем больше его диаметр, но с увеличением диаметра снижается степень очистки. Поэтому для большего количества очищаемого потока целесообразно применять вместо одиночных циклонов больших размеров группу циклонов меньших диаметров или батарейные

циклоны, которые отличаются от групповых элементов, но и конструкцией. В частности, для обеспечения вращательного движения потока в циклонных элементах батарейного циклона устанавливают специальные направляющие аппараты (розетки или винтообразные лопасти). Выражая общее гидравлическое сопротивление через динамический напор во входном патрубке и заменяя сумму частных коэффициентов гидравлических сопротивлений общим коэффициентом гидравлического сопротивления циклона $\zeta_{\text{ц}}$, получим:

$$\Delta P_{\text{ц}} = \varphi_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{г}} \cdot v_{\text{в}}^2 / 2 \quad (6.6)$$

$$v_{\text{в}} = V / f_{\text{в}} \quad (6.7)$$

здесь ρ – плотность газовой среды в рабочих условиях, кг/м³

$v_{\text{в}}$ – скорость газа во входном патрубке, м/с ;

V – расход газа, м³/сек ;

$f_{\text{в}}$ – площадь поперечного сечения патрубка, м².

При расчете общего гидравлического сопротивления циклона чаще его определяют как функцию условной скорости газа $V_{\text{ц}}$, т.е. отнесенной к площади свободного поперечного сечения цилиндрической части корпуса циклона:

$$\Delta P_{\text{ц}} = \zeta_{\text{ц}} \cdot \rho \cdot v_{\text{ц}}^2 / 2 \quad (6.8)$$

Условная скорость газа в циклоне, обеспечивающая высокую степень очистки, лежит в пределах 3-4 м/сек и рассчитывается по уравнению:

$$v_{\text{ц}} = V / (0,785 \cdot D_{\text{ц}}^2) \quad (6.9)$$

где $D_{\text{ц}}$ – диаметр циклона, м.

Значения коэффициентов $\zeta_{\text{ц}}$ и $\zeta_{\text{ц}}'$ зависят от конструктивных особенностей циклона. Коэффициент сопротивления циклона $\zeta_{\text{ц}}'$ зависят от числа Рейнольдса $Re = v_{\text{ц}} \cdot D_{\text{ц}} / \nu$, но в отличие от обычного коэффициента трения он возрастает с увеличением числа Рейнольдса в определенных пределах и, наоборот, падает с уменьшением этого числа. Такое изменение $\zeta_{\text{ц}}'$ объясняется влиянием сопротивления трения в циклоне на интенсивность вращения потока. Чем меньше Re , тем больше тормозящее ее действие оказывают стенки циклона на поток при его вращении. Так как основные потери в циклоне связаны с вращательным движением среды, то уменьшение интенсивности вращения приводит к снижению коэффициента полного сопротивления циклона.

Влияние на $\zeta_{\text{ц}}'$ аналогичное, оказывает и относительная шероховатость стенок циклона, а также относительная величина местных выступов (места сварки, швы и т.д.). При постоянной абсолютной шероховатости стенок циклона коэффициент сопротивления $\zeta_{\text{ц}}'$ с увеличением диаметра циклона возрастает ещё более резко, т.к. при этом снижается относительная шероховатость, а, следовательно, уменьшается коэффициент трения и его тормозящее действие.

Степень улавливания при всех прочих одинаковых условиях зависит от скорости газового потока, а следовательно, и от $\Delta P_{\text{ц}}$. Наилучшие условия очистки запылённого газа обеспечиваются при оптимальном $\Delta P_{\text{ц}}$: выше этого значения будет перерасход энергии при практически постоянном η , ниже – заметно снижается степень очистки.

Описание установки

Твердые частицы из бункера 1 (рис. 15) поступают в трубопровод 3 и образуют с движущимся в этом трубопроводе воздухом запыленный воздушный поток.

Уловленные в циклоне твердые частицы собираются в сборнике 8. Циклон 5 является основным аппаратом в представленной схеме: внутренний диаметр его цилиндрической части 138 мм. Входной патрубок имеет внутренний диаметр 27 мм, выходной – 54 мм. Циклон соединен с вытяжным вентилятором 11 системой трубопроводов входным всасывающим 3 (диаметром 27 мм) и выходным. Расход воздуха регулируется диафрагмой 10. В качестве измерительных приборов использованы: для определения расхода воздуха - дифференциальный манометр 6, подключенный к трубе Пито 2, для определения гидравлического сопротивления циклона - дифманометр 7, соединенный на входе в циклон и выходе из него.

Методика проведения работы

Исследование работы циклона проводят в два этапа. Сначала определяют гидравлическое сопротивление циклона в зависимости от скорости газового потока, затем степень очистки в зависимости от скорости потока при постоянной концентрации в нем твердых частиц. В первой части работы исследование проводят на не запыленном воздухе. Включают вентилятор 11 и устанавливают с помощью диафрагмы 10 необходимый расход воздуха в пределах, заданных преподавателем (6-8 значений расходов). Показания дифманометра 6-7 снимают при установленном расходе воздуха одновременно по команде “отсчет” и заносят в отчетную таблицу. Во второй части работы исследование проводят на запыленном воздухе при тех же значениях расходов, что и в первом этапе исследования. Твердой фазой служит сыпучий материал со средним размером частиц 40 – 100 мкм. Заданную фракцию твердого материала студенты готовят сами, используя ситовой анализ с применением набора различных стандартных сит. Перед началом работы проверяют наличие твердого сыпучего материала в бункер 1, предварительно продувают систему, включив на некоторое время вентилятор, затем освобождают от твердого материала бункер 8. После этого установку можно считать подготовленной к проведению исследований. Включают вентилятор и с помощью диафрагмы 10 устанавливают нужный расход воздуха. Затем включают в работу одновременно дозатор твердой фазы (зазор в проходном отверстии бункера) и секундомер. По мере накопления определенного объема материала в сборнике 8 останавливают дозатор с одновременной отсечкой секундомера. Вентилятор продолжает работать в заданном режиме некоторое время, затем его останавливают. Твердый материал (следует простучать корпус циклона, чтобы собрать материал с его поверхности), уловленный из газового потока за время опыта в сборнике 8, взвешивают на технических весах. После этого приступают к подготовке установки для проведения очередного опыта (исследование проводят при 6-8 значениях расхода воздуха). Полученные в каждом опыте данные заносят в таблицу.

В данной работе начальную концентрацию пыли весовым методом: через отверстие в бункер 1 попадают, определенное количество пыли за единицу времени в определенный объем проходящего воздуха.

Начальная концентрация пыли:

$$C_n = C_{тн} / V, \quad (6.10)$$

где $C_{тн}$ – масса пыли подаваемой в циклон, кг/с;

V – расход газа;

конечная концентрация:

$$C_k = C_{тк} / V \quad (6.11)$$

При определении средней скорости необходимо учесть расположение трубки Пито по оси трубы (вводится коэффициент 0,8).

Обработка опытных данных.

По экспериментальным данным отчетной таблицы для каждого опыта

1. определяют расход воздуха (V , м³/с);
2. по показаниям дифманометра б рассчитывают скорость газового потока в циклоне $v_{ц}$;
3. по уравнению (6.7) и (6.9) рассчитывают соответствующие коэффициенты гидравлических сопротивлений $\zeta_{ц}$ и $\zeta_{ц}'$ (уравнение 6.6 и 6.8);
4. определяют $\Delta P_{ц}$ (учитывая подключение дифманометра б к трубопроводам разного сечения по приложению 2);
5. Находят расход (кг/с) уловленного твердого материала: $C_{тул} = m/\tau$, где m – масса уловленного твердого материала за время работы τ ;
6. рассчитывают степень очистки η (уравнение 6).

Отчетная таблица

№ опыта	Показания дифманометра №6, h мм	Показание дифманометра №7, h мм	Расход твердого материала $C_{тн}$, кг/с	Масса уловленного материала M, кг	Расход воздуха V , м ³ /с	Скорость воздуха во входном патрубке $U_{вх}$, м/с	Условная скорость воздуха в циклоне $U_{ц}$, м/с	Коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta_{ц}$	Коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta_{ц}'$	Степень очистки η

Тема 7. Изучение кинетики гравитационного осаждения.

Цель занятия:

Изучить экспериментальную установку для реализации процесса. Получить экспериментальные зависимости.

Основные понятия, методика выполнения работы, оборудование подробно приведены в учебном пособии [1].

Оборудование:

1. Системный блок с CD-ROM с программным обеспечением «MSoffice», Flash Player 9, Internet Explorer 6.0/
2. Монитор
3. Мышь
4. Клавиатура

5. CD-диск с Программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ «Процессы и аппараты пищевых производств».

Изучение кинетики гравитационного осаждения.

Цель работы: экспериментальное изучение зависимости скорости осаждения твердых частиц от физических свойств твердого вещества и жидкости под действием силы тяжести и сопоставление полученных данных с теорией.

Приборы, принадлежности и материалы: стеклянные цилиндры, секундомер, пинцет, твердые частицы пшена, риса и гороха, жидкости: вода, подсолнечное масло.

Установка состоит из трех стеклянных цилиндров, заполненных разными жидкостями. На цилиндры нанесена градуировочная шкала, фиксирующая расстояние, которое частицы проходят в процессе осаждения.

Теоретические основы осаждения

Неоднородными называются системы, состоящие из двух и более фаз. В химической технологии часто возникает необходимость разделения неоднородных систем на составляющие фазы. Примером таких неоднородных систем являются пыли – взвеси твердых частиц в газе, туманы – взвеси мелких капель жидкости в газе, эмульсии – взвеси капель жидкости в других жидкостях, суспензии – взвеси частиц твердого вещества в жидкости.

Разделение неоднородных систем путем осаждения, может быть осуществлено несколькими методами:

- путем гравитационного осаждения, т.е. под действием сил тяжести твердых частиц;
- под действием центробежных сил;
- под действием сил электрического притяжения в электрическом поле.

Гравитационное осаждение является простейшим методом разделения неоднородных смесей. На практике его осуществляют в аппаратах, называемых отстойниками. Для расчета последних необходимо знать скорость осаждения частиц.

Рассмотрим процесс осаждения твердой шарообразной частицы диаметром d . Если плотность частицы больше плотности жидкости, твердая частица будет осаждаться, если меньше, то частица будет всплывать. В остальном, кроме изменения направления движения частицы принципиального различия между этими случаями нет. При движении частицы на нее действуют сила тяжести, равная весу частицы G , выталкивающая (Архимедова сила) A_g и сила сопротивления среды r . Под давлением силы F , равной разности сил $G - A_g$, частицы будут перемещаться.

Сила тяжести

$$G = m \cdot g = V_{\text{ч}} \rho_{\text{ч}} g = \frac{\pi d^3}{6} \rho_{\text{ч}} g, \quad (7.1)$$

где m – масса частицы, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

d – диаметр частицы, м;

$\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы, кг/м^3 ;

$V_{\text{ч}}$ – объем твердой частицы, м^3 .

Сила сопротивления среды

$$R = \xi \cdot F \cdot \rho_{\text{жс}} \cdot \omega_{\text{ос}}^2 / 2 = \xi \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_{\text{жс}} \cdot \omega_{\text{ос}}^2 / 2, \quad (7.2)$$

где $\rho_{\text{жс}}$ – плотность жидкости, кг/м^3 ;

ω_{oc} – скорость осаждения, м/с;

ξ – коэффициент сопротивления;

Выталкивающая Архимедова сила равна весу жидкости в объеме тела:

$$A = V_{\text{ч}} \rho_{\text{ж}} g = \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} \rho_{\text{ж}} g, \quad (7.3)$$

В начальный момент времени частица движется ускоренно под действием силы F . По мере нарастания скорости частицы увеличивается сопротивление среды R и уменьшается ускорение частицы. Наступает такой момент, когда $F = R$, и частица начинает двигаться с постоянной скоростью, которая называется скоростью осаждения.

$$F = G - A = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) g,$$

Приравниваем силы F и R , получаем

$$\frac{\pi d^3}{6} (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) g = \xi \frac{\pi d^2}{4} \rho_{\text{ж}} \frac{\omega_{oc}^2}{2},$$

откуда получаем формулу скорости осаждения

$$\omega_{oc} = \sqrt{4gd(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) / 3\rho_{\text{ж}}\xi}, \quad (7.4)$$

Однако, расчет ω_{oc} по уравнению (6.4) затруднен, так как уравнение (7.4) включает коэффициент сопротивления ξ , зависящий от критерия Рейнольдса (режима осаждения), в который входит искомая скорость осаждения. В связи с этим необходимо рассмотреть гидравлические режимы осаждения.

Исследования показывают, что наблюдается три режима осаждения: ламинарный, переходный и турбулентный. В пределах каждого режима характер обтекания частиц жидкостью различный.

При ламинарном режиме осаждения жидкость плавно обтекает частицу без образования вихрей. Переходный режим является промежуточным между ламинарным и турбулентным. Изменение характера обтекания при переходе от одного режима к другому как раз и обуславливает изменение характера зависимости коэффициента ξ .

Область существования режимов осаждения определяется величиной критерия Рейнольдса.

$$Re = \frac{\omega_{oc} \cdot d \cdot \rho_{\text{ж}}}{\mu_{\text{ж}}}, \quad (7.5)$$

где $\mu_{\text{ж}}$ – динамический коэффициент вязкости жидкости, $Pa \cdot c$

при $Re < 2$ наблюдается ламинарный режим осаждения, при котором

$$\xi = 24/Re, \quad (7.6)$$

$2 \leq Re \leq 500$ – переходный режим осаждения, при котором

$$\xi = 18,5/Re^{0,6}, \quad (7.7)$$

$Re > 500$ – турбулентный режим осаждения, при котором

$$\xi = 0,44. \quad (7.8)$$

Подстановка значений ξ из уравнений (7.6 – 7.8) в уравнение (7.4) приводит к расчетным зависимостям скорости осаждения. Однако пользоваться ими неудобно, так как неизвестен режим осаждения. Целесообразнее переходить к критериальным уравнениям. Решив уравнение (6.4) относительно ξ , получим

$$\xi = \frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot d}{\omega_{oc}^2} \cdot \frac{(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{жс}})}{\rho_{\text{жс}}}.$$

Умножив левую и правую части на Re^2 , после сокращения получаем выражение

$$\xi \cdot \text{Re}^2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot d^3 \cdot \rho_{\text{жс}}^2}{\mu_{\text{жс}}^2} \cdot \frac{(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{жс}})}{\rho_{\text{жс}}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot d^3 \cdot \rho_{\text{жс}} \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{жс}})}{\mu_{\text{жс}}^2}, \quad (7.9)$$

Дробь в правой части уравнения (6.9) представляет собой безразмерный комплекс величин, носящий название критерия Архимеда

$$\text{Ar} = \frac{g \cdot d^3 \cdot \rho_{\text{жс}} \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{жс}})}{\mu_{\text{жс}}^2}, \quad (7.10)$$

$$\xi \cdot \text{Re}^2 = \frac{4}{3} \cdot \text{Ar}, \quad (7.11)$$

тогда уравнение 6.11, решенное относительно Re , запишется следующим образом

$$\text{Re} = 1,15 \cdot \left(\frac{\text{Ar}}{\xi} \right)^{0,5}, \quad (7.12)$$

В общем случае осаждающие частицы не шарообразны, а форма частиц влияет на величину скорости осаждения. С целью учета этого фактора в уравнение (7.12) вводится коэффициент формы $\psi = f_m / f_n$, представляющий собой отношение поверхности частицы шарообразной формы к поверхности частицы данной формы.

Для шарообразных частиц $\psi = 1$, а для любой иной формы $\psi < 1$. С учетом коэффициента формы уравнение (6.12) примет вид

$$\text{Re} = 1,15 \cdot \left(\frac{\psi \cdot \text{Ar}}{\xi} \right)^{0,5}, \quad (7.13)$$

Совместное решение уравнения (5.13) с уравнениями (5.6 – 5.8) дает критериальные уравнения, описывающее гравитационное осаждение.

В ламинарном режиме при $\text{Re} < 2$ или при $\psi \cdot \text{Ar} < 36$

$$\text{Re} = \frac{\psi \cdot \text{Ar}}{18}, \quad (7.14)$$

В переходном режиме, при $2 \leq \text{Re} \leq 500$ или при $36 \leq \psi \cdot \text{Ar} \leq 83000$

$$\text{Re} = 0,152 \cdot (\psi \cdot \text{Ar})^{0,715}, \quad (7.15)$$

В турбулентном режиме, при $\text{Re} > 500$ или при $\psi \cdot \text{Ar} > 83000$

$$\text{Re} = 1,74 \cdot (\psi \cdot \text{Ar})^{0,5}, \quad (7.16)$$

Критериальные зависимости (6.14–6.16) могут быть представлены в общем виде:

$$\text{Re} = m \cdot \text{Ar}^n, \quad (7.17)$$

откуда

$$\lg \text{Re} = \lg m + n \cdot \lg \text{Ar}, \quad (7.18)$$

Удобство уравнений (6.14–6.18) заключается в том, что искомая величина входит только в критерий Рейнольдса. В критерий Архимеда входят известные по условиям задачи величины $(\rho_{\text{ч}}, \rho_{\text{жс}}, \omega_{\text{жс}}, d, g)$. Поэтому по величине критерия Архимеда можно судить о режиме осаждения и, используя соответствующую

зависимость между Re и Ar (уравнения 6.14 -6.16) для данного режима осаждения, рассчитать критерий Re , а из него скорость осаждения

$$\omega_{oc} = \frac{Re \cdot \mu_{жс}}{d \cdot \rho_{жс}}, \quad (7.19)$$

В практике осаждения наиболее распространен случай, когда режим осаждения ламинарный. Решая уравнение (6.14) относительно ω_{oc} (при $\psi = 1$), получим уравнение

$$\omega_{oc} = g d^2 (\rho_{ч} - \rho_{ж}) / 18 \mu,$$

известное под названием формулы Стокса.

Обратим внимание на физический смысл критериев подобия Рейнольдса и Архимеда. Критерий Рейнольдса является мерой отношения инерционных сил в потоке и сил трения (вязкости). При малых значениях критерия Рейнольдса поток жидкости формируется в условиях преобладания вязкостных сил над силами инерции и при обтекании частицы не происходит образование вихрей. При больших значениях критерия Рейнольдса уже преобладают инерционные силы, поэтому возникают возмущения жидкостного потока, которые вязкостные силы погасить не могут, и за частицей возникает цепочка вихрей.

Критерий Архимеда является мерой отношения подъемной силы (разности силы тяжести и Архимедовой силы) к вязкостным силам.

Таким образом, критериальные уравнения (6.14–6.16) в специфической форме учитывают не только действующие на частицу в процессе осаждения силы, но и характерные особенности обтекания частицы жидкостью.

Порядок выполнения работы

Твердые частицы, у которых предварительно измеряют диаметр, берут пинцетом, вводят на уровень поверхности жидкости и отпускают. Секундомером засекают время прохождения частицы между метками. Чтобы исключить влияние ускоренного движения частиц в жидкости на начальном участке, верхняя метка расположена на 30-40 мм ниже уровня жидкости. Каждый замер дублируют (не менее трех раз). Частицу опускают точно по центру цилиндра. Если частица коснулась стенки сосуда или к частице прилип пузырек воздуха, то такой замер не засчитывается и опыт повторяется. Результаты замеров диаметра частиц и время осаждения заносят в протокол испытаний. При вычислении критериев используют усредненные значения диаметра частиц. За опытную скорость осаждения принимают среднюю из проведенных замеров.

В данной работе необходимо определить опытную и расчетную скорости осаждения, сравнить теоретический и истинный процесс осаждения путем построения в логарифмических координатах ($\lg Re - \lg Ar$) линий теоретического и истинного процессов осаждения. По истинной линии определить значение коэффициента и показателя степени в уравнении (6.17) для полученных режимов осаждения. Для этого необходимо:

1. Определить опытную скорость осаждения по уравнению $\omega_{oc} = H/\tau$,
где H – расстояние между метками, м ;
 τ – время осаждения, с.

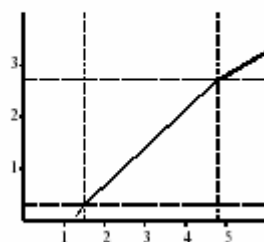
Зная эту скорость, по формуле (6.5) можно рассчитать $Re_{опыт}$.

2. По формуле (6.10) рассчитать критерий $\psi \cdot Ar$, определить режим осаждения и по формулам (6.14–6.16) рассчитать критерий $Re_{расчт.}$.

3. По формуле (6.19) определить расчетную скорость осаждения на основе $Re_{расч.}$.

4. Найти значения $lgRe_{опыт.}$ и $lg(\psi \cdot Ar)$ для каждого усредненного замера и по ним в координатах $lgRe_{опыт.} - lg(\psi \cdot Ar)$ нанести точки, которые соединяют прямыми, в пределах соответствующего режима, наилучшим образом приближающихся к теоретическим линиям. Теоретические линии предварительно построить по уравнениям (6.14–6.16) исходя из критических значений Re и Ar : $Re = 2$ и $Re = 500$, $Ar = 36$ и $Ar = 83000$, как показано на рисунке 6.1.

$lg Re$



$lg \psi Ar$

Рисунок 5.1 – Линия теоретического процесса осаждения.

5. Тангенс угла наклона линий истинного процесса к оси абсцисс $lg(\psi \cdot Ar)$ даст значения угловых коэффициентов n , а отрезок, отсекаемый этими линиями (или их продолжением) на оси ординат ($lgRe$), значения lgm , из которого определить m .

6. Провести анализ причин, приводящих к отклонению эксперимента от теории.

7. Опытные и расчетные величины занести в протокол испытаний (таблица 5.1).

Таблица 5.1. – Протокол испытаний и расчетов

Частицы			Жидкость			Время осаждения, τ , с	Скорость осаждения		Ar	Re	
наименован	$\rho_{\text{ч}}$, кг/м ³ ;	d, м	наименован	$\rho_{\text{ж}}$, кг/м ³ ;	$\mu_{\text{ж}}$, Па·с	опытное	опытная	расчетная		опытный	расчетный

Контрольные вопросы

1. Что называется скоростью осаждения? 2. От чего зависит скорость осаждения? 3. Какие бывают режимы осаждения и критические значения критериев Рейнольдса и Архимеда для этих режимов? 4. Как рассчитывается скорость гравитационного осаждения твердых частиц? 5. Какие силы действуют на осаждающуюся частицу? 6. Какими критериальными зависимостями описывается процесс осаждения? 7. Что характеризуют критерии Рейнольдса и Архимеда? 8. В каких случаях используется формула Стокса?

Тема 8. Исследование гидродинамики псевдооживленного слоя

Цель занятия: изучить экспериментальную установку для реализации процесса. Получить экспериментальные зависимости.

Основные понятия, методика выполнения работы, оборудование подробно приведены в учебном пособии [1].

Оборудование:

6. Системный блок с CD-ROM с программным обеспечением «MSoffice», FlashPlayer 9, Internet Explorer 6.0/
7. Монитор
8. Мышь
9. Клавиатура
10. CD-диск с Программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ «Процессы и аппараты пищевых производств».

Темы 9,10. Изучение процессов нагрева и рекуперации теплоты в трубчатой теплообменной установке.

Цель занятия: Изучить устройство и принцип действия трубчатой теплообменной установки. Определить коэффициент регенерации. Провести сравнение опытных значений коэффициентов и расчетных.

Основные понятия, методика выполнения работы, оборудование подробно приведены в учебном пособии [1].

Оборудование:

1. Системный блок с CD-ROM с программным обеспечением «MSoffice», Flash Player 9, Internet Explorer 6.0/
2. Монитор
3. Мышь
4. Клавиатура
5. CD-диск с Программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ «Процессы и аппараты пищевых производств».

Задание: Рассчитать теплообменник типа «труба в трубе» для охлаждения G1 горячей воды от $t_{1н}$ до $t_{1к}$ ледяной водой с начальной температурой $t_{2н}$ и конечной $t_{2к}$ (параметры среды выбираются по средней температуре из справочника: удельная теплоемкость C Дж/(кг·К); теплопроводность λ , плотность ρ , динамическая вязкость μ , (Па·с). Преподаватель выдает исходные данные из таблицы 8.1 по номеру зачетной книжки студента.

Таблица 9.1 – Варианты задания.

ФИО	1-10	11-21	22-33	34-45	45-56	60-99
1-50	$G_1=0,5$ кг/с $t_1=90/30$ °C $t_2=2/30$ °C	$0,55$ кг/с $95/30$ °C $3/30$ °C	$0,6$ кг/с $92/25$ °C $4/31$ °C	$0,3$ кг/с $87/22$ °C $5/40$ °C	$0,57$ кг/с $94/28$ °C $6/45$ °C	$0,37$ кг/с $97/26$ °C $7/50$ °C
50-99	$G_1=0,4$ кг/с $t_1=89/28$ °C $t_2=3/35$ °C	$0,45$ кг/с $88/25$ °C $4/32$ °C	$0,35$ кг/с $100/32$ °C $2/40$ °C	$0,38$ кг/с $91/31$ °C $5/45$ °C	$0,65$ кг/с $90/40$ °C $6/50$ °C	$0,28$ кг/с $99/27$ °C $1/30$ °C

Вода проходит в трубном пространстве, ледяная вода в межтрубном пространстве, движение теплоносителей противоточное. Рассчитанный теплообменник представить на рисунке.

Расчет проводится по следующей схеме:

1. Определяется тепловая нагрузка, Вт:

$$Q = G_1 \cdot C_1 (t_{1н} - t_{1к}), \quad (9.1)$$

где C_1 – теплоемкости горячей воды, соответственно (см. табл.), Дж/(кг °K), далее в расчете теплоемкости жидкостей принимаем по средней температуре и все недостающие расчетные значения свойств воды определяем интерполяцией по таблице 8.2.

2. Расход ледяной воды находится из уравнения теплового баланса, кг/с;

$$G_2 = \frac{Q}{c_2(t_{2к} - t_{2н})}, \quad (9.2)$$

3. Вычисляется средняя разность температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}, \quad (9.3)$$

где $\Delta t_6, \Delta t_m$ – большая и меньшая разность температур между горячим и холодным теплоносителем на концах теплообменника. Если $\Delta t_6 / \Delta t_m \leq 2$, то

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_6 + \Delta t_m) / 2 \quad (9.4)$$

4. Определение диаметра труб и режим движения теплоносителей:
диаметр внутренней трубы определяется по формуле:

$$d_g = \sqrt{G_1 / (0,785 \rho_1 \omega_1)}, \text{ м} \quad (9.5)$$

где ω_1 – скорость движения теплоносителя в трубном пространстве, м/с;

Рекомендуемая скорость теплоносителя ω_1 от 1,5 до 2 м/с.

Принимаем по ГОСТ 9930-78 теплообменную трубу с диаметром $d_{нар}$, ближайшем к рассчитанному. Рекомендуется принимать теплообменные трубы с наружным диаметром 18, 25, 32, 38, 48, 57, 76, 108, 133, 159, 219 мм.

Внутренний диаметр наружной трубы определяется по формуле:

$$D = \sqrt{(S_{мтр} / 0,785) + d_{нар}^2}, \text{ м} \quad (9.6)$$

где $S_{мтр}$ – площадь сечения кольцевого пространства, м².

$$S_{мтр} = G_2 / \rho_2 \cdot \omega_2, \quad (9.7)$$

где ω_2 – скорость движения теплоносителя в кольцевом пространстве, м/с;
Рекомендуемая скорость теплоносителя ω_2 от 0,7 до 1,5 м/с. Принимаем по ГОСТ 9930-78 кожуховую трубу с диаметром, ближайшем к рассчитанному (см. рекомендации выше).

Вычисляем критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{w \cdot d_g \cdot \rho}{\mu}, \quad (9.8)$$

где $d_{экр} = d_{нар}$ – для горячей воды; $d_{экр} = D - d_{нар}$ – для холодной воды;

Сечения труб должны при необходимости соответствовать турбулентному режиму движения жидкости ($Re > 10000$).

5. Находятся коэффициенты теплоотдачи α_1 , Вт/(м²К) и α_2 для воды и ледяной воды по критериальным уравнениям ($Re > 10000$).

Для трубы:

$$N_{и} = 0,021 \cdot Re^{0,8} p_r^{0,43} \cdot (p_r / p_{г.ст})^{0,25}, \quad (9.9)$$

для межтрубного пространства:

$$N_{и} = 1,16(d_3 \cdot Re)^{0,5} p_r^{0,33} \quad (9.10)$$

Определяем коэффициенты:

$$\alpha_{1,2} = \frac{N_u \cdot \lambda}{d_j}, \quad (9.11)$$

При вычислении $p_{г.ст}$ значение констант теплоносителей принимается при температуре стенки. Для охлаждающихся жидкостей можно принимать $(p_r / p_{г.ст})^{0,25} \approx 0,.$

6. Рассчитываются коэффициенты теплопередачи K , Вт/ (м² К) принимая, что трубы выполнены из нержавеющей стали, коэффициент теплопроводности которой $\lambda_{ст}=17,5$ Вт/(мК), а $\delta_{ст} = (d_{нар} - d_{в})/2$

$$K = (1/\alpha_1 + \delta_{ст}/\lambda_{ст} + 1/\alpha_2)^{-1} \quad (9.12)$$

где $\delta_{ст}$ - толщина стенки трубы

7. Требуемая площадь поверхности теплообменника определяется по формуле:

$$F = \frac{Q}{k \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2 \quad (9.13)$$

8. Общая длина трубы считается по наружному диаметру теплообменных труб:

$$L = \frac{F}{3,14 \cdot d}, \quad (9.14)$$

9. Определяется число элементов теплообменника:

$$n = L/L, \text{ шт.} \quad (9.15)$$

где l - длина кожуховых труб (принимается равным 1,5; 3,0; 4,5; 6,0; 9,0; 12 м)

Таблица 9.2 - Физические свойства воды (на линии насыщения)

t, °C	ρ , кг/м ³	c , кДж/кг·К	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/м·К	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	Pr
0	1000	4,23	55,1	1790	13,7
10	1000	4,19	57,5	1310	9,52
20	998	4,19	59,9	1000	7,02
30	996	4,18	61,8	804	5,42
40	992	4,18	63,4	657	4,31
50	988	4,18	64,8	549	3,54
60	983	4,18	65,9	470	2,98
70	978	4,19	66,8	406	2,55
80	972	4,19	67,5	355	2,21
90	965	4,19	68,0	315	1,95
100	958	4,23	68,3	282	1,75
110	951	4,23	68,5	256	1,58
120	943	4,23	68,6	231	1,43
130	935	4,27	68,6	212	1,32
140	926	4,27	68,5	196	1,23
150	917	4,32	68,4	185	1,17
160	907	4,36	68,3	174	1,10
170	897	4,40	67,9	163	1,05
180	887	4,44	67,5	153	1,01

Тема 11, 12. Исследование работы двухкорпусной выпарной установки. Расчет пароструйного инжектора

Цель занятия: Изучить процесс выпаривания в двухкорпусной выпарной установке. Провести расчет пароструйного инжектора.

Основные понятия, методика выполнения работы, оборудование подробно приведены в учебном пособии [1].

Оборудование:

1. Системный блок с CD-ROM с программным обеспечением «MSoffice», Flash Player 9, Internet Explorer 6.0
2. Монитор
3. Мышь
4. Клавиатура
5. CD-диск с Программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ «Процессы и аппараты пищевых производств».

Расчет пароструйного инжектора

Цель занятия: Изучить устройство и принцип действия пароструйного инжектора. Построить процесс в диаграмме. Определить конструктивные параметры инжектора.

С целью уменьшения расхода греющего пара процесс выпаривания проводят с применением тепловых насосов. В установках с паровым инжектором греющий пар из котельной поступает в паровой инжектор. Паровой инжектор представляет собой простое устройство без движущихся частей типа сопла Вентури. За счет создания вакуума в инжектор засасывается вторичный пар из выпарного аппарата. Каждая массовая единица греющего пара засасывает m массовых единиц вторичного пара. В результате получают греющий пар в количестве $D(1+m)$ с давлением, меньшим, чем давление греющего пара, но с большим, чем давление вторичного пара. Часть вторичного пара сбрасывается в атмосферу.

Задание: Рассчитать процесс инжекции с помощью I-S диаграммы и выполнить чертеж пароструйного инжектора. Принять продукт для выпаривания молоко.

1. Расчет процесса, происходящего в инжекторе в I-S диаграмме, рисунок 10.1.

- 1.1 Состояние пара на входе в сопло характеризуется точкой A на диаграмме.

Его параметры: P_o ; t_o ; x , таблица 10.1

- 1.2. В сопле происходит адиабатическое расширение пара по линии AB до давления в камере смешения.

Для построения этого процесса из точки A проводят вертикальную линию до линии P_g – точка B , ее длина h_o измеряется в мм на диаграмме, т.к. существуют потери на трение.

- 1.3. Т.к. существуют потери на трение, в действительности расширение пойдет по линии AD . Точка B соответствует давлению вторичного пара. Отложив от нее вверх отрезок, равный $0,1 h_o$ (точка C) и, проведя из нее горизонталь до линии давления P_g , определяем точку D .

- 1.4. Из точки E на линии пересечения P_g и $x=1$ проводят линию EF по вертикали до линии P_1 . Это будет h_c в первом приближении, т.к. точка F находится в области перегретого пара, что не соответствует действительности.

- 1.5. Подсчет коэффициента инжекции в первом приближении проводят по формуле:

$$U = A \cdot \sqrt{\frac{h_o}{h_c}} - 1, \quad (11.1)$$

где A – произведение опытных коэффициентов, характеризующих работу инжектора, принять 0,81;

h_o, h_c – адиабатические перепады тепла, определяемые по I-S диаграмме.

1.6. Определение полной теплоты пара на выходе из инжектора осуществляют по эмпирической формуле:

$$i_1 = \frac{i_o + i_a \cdot U}{1 + U} - 0,9 \cdot h_c, \quad (11.2)$$

1.7. Определяют новый период h'_c по I-S диаграмме. Для этого из точки F' (см. черт. 1), полученной на пересечении линии i_1 и P_1 , проводят вниз вертикальную линию $F'E' = h'_c$ до пересечения с P_o . Подсчитывают U_1 по формуле (1) при значении h'_c и i'_1 по формуле (2) при U_1 и h'_c . Если i'_1 близко по величине к i_1 , то расчет считают законченным и берут коэффициент инжекции равным U_1 .

Если i'_1 отличается от i_1 и это может отразиться на результатах расчета, то проводят новое построение i''_1 , находят h''_c , подсчитывают U_{11} и i''_1 , сравнивают i''_1 с i'_1 , при котором велось построение и расчет.

2. Определение конструктивных размеров термокомпрессора

2.1. Для определения проходных сечений термокомпрессора необходимо знать расход на него рабочего и вторичного пара.

Расход рабочего пара (кг/ч) определяется по формуле:

$$D_o = \frac{D_z}{1 + U}, \quad (11.3)$$

Расход вторичного пара, (кг/ч), определяется по формуле:

$$D_g = D_o \cdot U, \quad (11.4)$$

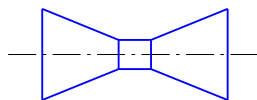
2.2 Для определения диаметров d_o и d_1 горла сопла и сопла при выходе, соответственно, служит диаграмма, изображенная на рис. 3, d_o находят по нижней кривой I в зависимости от отношения $\frac{D_o}{P_o}$, из которого и находят d_1 .

2.3. Длину расширяющей части сопла, (мм), определяют по формуле:

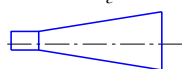
$$l_1 = \frac{d_1 - d_o}{0,26}, \quad (11.5)$$

2.4. Расстояние от выходного сечения сопла до входного сечения диффузора l_2 принять равным 0-10 мм.

2.5. Если $\frac{P_g}{P_z} < 0,557$, то диффузор выполняется в форме двух усеченных конусов.



Если $\frac{P_g}{P_z} > 0,557$, то диффузор выполняется в форме одного расходящегося конуса.



2.6. Горло диффузора (размер d_3) определяют по диаграмме, на которой представлен ряд прямых для наиболее часто встречающихся степеней сжатия.

Определяют отношение $\frac{P_c}{P_g}$; по давлению рабочего пара с соответствующей

прямой, определенной отношением $\frac{P_c}{P_g} \approx n$ находят отношение $\frac{d_3^2}{d_o^2} = N$, следовательно

$$d_3 = \sqrt{N \cdot d_o^2}$$

2.7. Длину сходящегося конуса принять:

$$l_3 = (5 \div 6) \cdot d_3$$

Длину расходящейся части принять:

$$l_5 = (6 \div 8) \cdot d_3$$

Длину горла диффузора принять:

$$l_3 = (5 \div 6) \cdot d_3$$

Входной и выходной диаметры диффузора определяют по формулам:

$$d_2 = 0,1 \cdot l_3 + d_3; \quad d_2 = 0,1 \cdot l_3 + d_3$$

8. Чертеж пароструйного термокомпрессора выполнить на формате А4, штамп стандартный, построение процесса в I-S диаграммы дать на миллиметровой бумаге (формат А4).

Таблица № 11.1 - Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от давления

Давление (абсолютное) P , МПа	Темпера- тура t , °С	Плотность ρ , кг/м ³	Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования r , кДж/кг
			жидкости i'	пара i''	
0,0010	6,6	0,00750	27,7	2506	2478
0,0015	12,7	0,01116	53,2	2518	2460
0,0020	17,1	0,01465	71,6	2526	2455
0,0025	20,7	0,01809	86,7	2533	2447
0,0030	23,7	0,02149	99,3	2539	2440
0,0040	28,6	0,02820	119,8	2548	2429
0,0050	32,5	0,03481	136,2	2556	2420
0,0060	35,8	0,04133	150,0	2562	2413
0,0080	41,1	0,05420	172,2	2573	2400
0,0100	45,4	0,066860	192,2	2581	2390
0,0120	49,0	0,07937	205,3	2588	2382
0,0150	53,6	0,09789	224,6	2596	2372
0,0200	59,7	0,12830	250,1	2607	2358
0,0300	68,7	0,18760	287,9	2620	2336
0,0400	75,4	0,24560	315,9	2632	2320
0,0500	80,9	0,30270	339,0	2642	2307
0,0600	85,5	0,35900	358,2	2650	2296
0,0700	89,3	0,41470	375,0	2657	2286
0,0800	93,0	0,46990	389,7	2663	2278
0,0900	96,2	0,52460	403,1	2668	2270
0,1000	99,1	0,57900	415,2	2677	2264
0,1200	104,2	0,68650	437,0	2686	2249
0,1400	108,7	0,79310	456,3	2693	2337
0,1600	112,7	0,89800	473,1	2703	2227
0,1800	116,3	1,00300	483,6	2709	2217
0,2000	119,6	1,10700	502,4	2710	2208

Условия проведения опыта: поглощаемое вещество

1. Аммиак из газовой смеси при температуре 450 °С;
2. Диоксид углерода из газовой смеси при температуре 480 °С.

Преподавателем выдаются исходные данные из таблицы 8.1. по номеру зачетки студента.

Таблица 13.1 – Варианты задания

Наименование	Последнее число зачетки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Количество газовой смеси, поступающей на установку V , м ³ /с	5	8	10	6	12	9	7	11	13	10
Начальная объемная концентрация вещества в газовой смеси y , %	12	10	14	8	14	11	9	13	10	12
Степень извлечения ε , %	95	94	96	96	94	95	97	94	92	95
Начальная массовая концентрация вещества в поглотителе $\bar{x}$, %	0	0.12	0.15	0.2	0	0.14	0.16	0.18	0	0.2
Степень насыщения поглотителя газом или паром η	0.75	0.78	0.80	0.76	0.77	0.72	0.74	0.82	0.79	0.8
Начальная температура охлаждающей воды, поступающей в холодильник $t_{\text{вн}}$, °С	18	20	22	21	19	16	20	22	17	20
Температура поглотителя $t_{\text{п}}$, °С	20	18	15	22	16	28	22	20	15	16

Примечание: Абсорбер работает под атмосферным давлением.

Для проведения опыта используется адсорбционная установка, собранная по следующей схеме, рисунок 13.1.

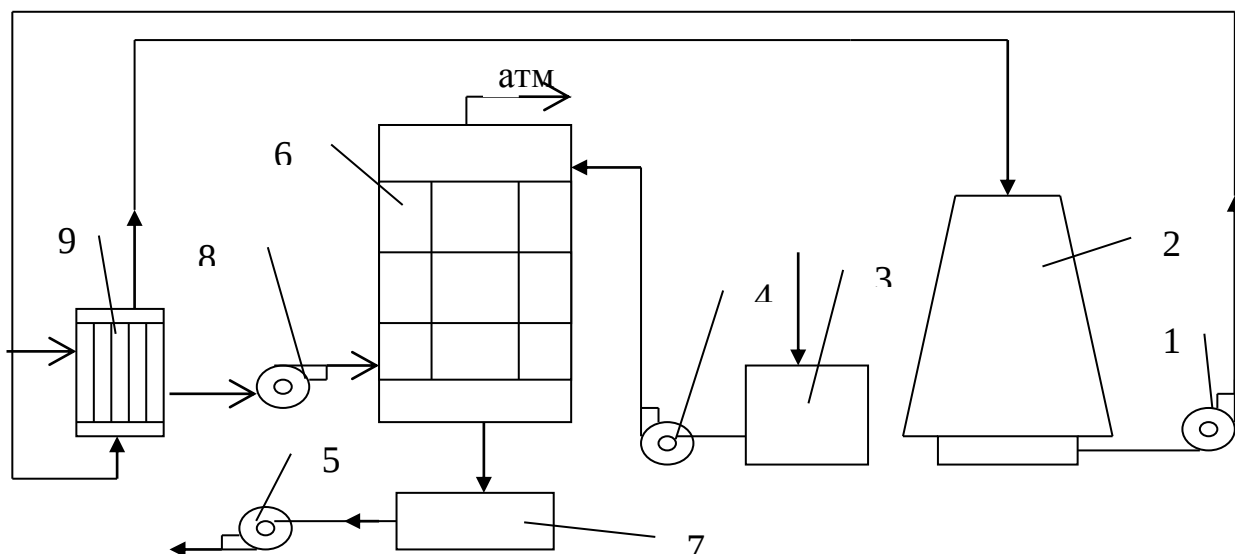


Рисунок 13.1 – Схема абсорбционной установки.

Условия проведения опыта:

Газ, охлажденный в теплообменнике 9, подается газодувкой 8 в нижнюю часть абсорбера 6, где равномерно распределяется по сечению колонны и поступает на контактные элементы (насадку). Абсорбент подается в верхнюю часть колонны центробежным насосом 4 из сборника 3. В колонне осуществляется противоточное взаимодействие газа и жидкости. Очищенный газ выходит из колонны в атмосферу. Абсорбент стекает через гидрозатвор в сборник 7, откуда насосом 5 направляется на дальнейшую переработку. Для охлаждения газа в холодильнике из градирни 2 подается насосом 1. вода, которая после холодильника возвращается на охлаждение в градирню.

Материальный баланс.

Количество продукта переходящего из газовой смеси в поглотитель- воду, определяют из уравнения материального баланса.

$$M = G \cdot (\bar{Y}_n - \bar{Y}_k) = L \cdot (\bar{X}_k - \bar{X}_n); \quad (13.1)$$

где G – расход газа, кг/с;

$\bar{Y}_n, \bar{Y}_k$ – начальная и конечная концентрация, извлекаемого компонента в газовой фазе, в относительных массовых концентрациях;

L – расход поглотителя, кг/с;

$\bar{X}_n, \bar{X}_k$ – соответственно начальная и конечная концентрация поглощаемого компонента в жидкости, в относительных массовых концентрациях.

Начальные относительные массовые составы жидкой и газовой фаз (кг/кг воды и кг/кг воздуха) определяются по формулам:

$$\bar{X}_n = \frac{\bar{x}}{100 - \bar{x}}; \quad (13.2)$$

$$\bar{Y}_n = \frac{\frac{M_n}{M_g} y}{(100 - y)}; \quad (13.3)$$

где $\bar{x}$ – начальная массовая концентрация вещества в поглотителе, в %;

y – начальная объемная концентрация вещества в газовой смеси, в %;

M_g – молекулярная масса воздуха, $M_g = 29$ кг/кмоль;

M_n – молекулярная масса продукта, например, у аммиака $M_n = 17$ кг/кмоль.

Концентрация продукта (кг/кг воздуха) в газовой смеси на выходе из абсорбера:

$$\bar{Y}_K = \bar{Y}_H (1 - \varepsilon); \quad (13.4)$$

где ε – степень извлечения компонента из газовой фазы, в массовых долях.

Конечную рабочую концентрацию продукта в жидкости на выходе из абсорбера определяют по формуле:

$$\bar{X}_K = \eta \cdot X^*; \quad (13.5)$$

где X^* – равновесная концентрация поглощенного компонента, которая определяется расчетным путем или находится по справочным данным, кг/кг;

η – степень насыщения поглотителя (воды) газом или паром.

Для определения равновесной концентрации продукта и построение линии равновесия выполняем расчет в такой последовательности. Задаваясь рядом значений $\bar{X}$ (конечных концентраций продукта в жидкости), вытекающей из абсорбера, рассчитаем температуру жидкости t_2 и соответствующие величины ϕ . Далее пересчитываем относительные массовые концентрации $\bar{X}$ в мольные доли x и находим значения p^* и определяем $\bar{Y}^*$ полученные данные свести в таблицу №1.

Определим температуру жидкости:

$$t_2 = t_{\text{вн}} + \frac{\Phi}{c} (\bar{X}_2 - \bar{X}_1); \quad (13.6)$$

где $t_{\text{вн}}$ – начальная температура охлаждающей воды, °C;

Φ – дифференциальная теплота растворения, Дж/кг ($\Phi_{\text{NO}_3} = 2070$ кДж/кг; $\Phi_{\text{CO}_2} = 2463$ кДж/кг);

c – удельная теплоемкость воды, равная $4190 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Концентрация поглощаемого компонента в жидкости соответственно в массовых долях определяют по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\bar{X}}{(1 + \bar{X}_{\text{индекс}})}; \quad (13.7)$$

где $\bar{X}_{\text{индекс}}$ – конечную концентрацию продукта в жидкости на выходе из абсорбера принимают в соответствии с таблицей 13.2.

Концентрация поглощаемого компонента в жидкости в массовых долях определяют по уравнению:

$$x = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}} \bar{X}}{M_{\text{H}_2\text{O}} \bar{X} + M_{(\text{раствор})}}; \quad (13.8)$$

Коэффициент смачиваемости определим по формуле:

$$\phi = 10^{9,343 - \frac{1922}{T_2}}; \quad (13.9)$$

где T_2 – температура жидкости, на выходе из абсорбера, К;

ϕ – коэффициент смачиваемости, мм. рт. ст.

Равновесное парциальное давление P^* ;

$$P^* = \varphi \cdot x; \quad (13.10)$$

Определяем $\bar{Y}^*$ по формуле:

$$\bar{Y}^* = \frac{M_n}{M_g} \cdot \frac{P^*}{P - P^*}; \quad (13.11)$$

где P – атмосферное давление равное 760 мм.рт.ст.

Таблица 12.2 – Значение конечных концентраций

Формула	$\bar{X}$ индекс							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\bar{X}, \text{ кг/кг}$	0,002	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
$\bar{x} = \frac{\bar{X}}{(1 + \bar{X}_1)}$								
$x = \frac{M_{H_2O} \bar{X}}{M_{H_2O} \bar{X} + M_{(раствор)}}$								
$t_2 = t_{вн} + \frac{\Phi}{c} (\bar{X}_2 - \bar{X}_1)$								
$\varphi = 10^{\frac{9,343 - 922}{T_2}}$								
$P^* = \varphi \cdot x$								
$\bar{Y}^* = \frac{M_n}{M_g} \cdot \frac{P^*}{P - P^*}$								

Принимаем, что газовая смесь, поступающая на установку из колонны синтеза, перед подачей в колонну охлаждается в холодильнике до 20⁰С.

В этом случае объем газовой смеси, поступающей в абсорбер, равен:

$$V_{\Gamma} = \frac{V(273 + 20^0\text{C})}{(t + 273)}; \quad (13.12)$$

где t – температура газовой смеси, ⁰С.

После всех расчетов, количество продукта, поступающего в колонну равна:

$$G_{\Pi} = V_{\Gamma} \cdot y \cdot \rho_{\Pi}; \quad (13.13)$$

где y – начальная объемная концентрация продукта в газовой фазе, мольные доли (исходные данные);

ρ_{Π} – плотность продукта при 20⁰С, (плотность аммиака NO₃ 0,717 кг/м³; плотность оксида углерода CO₂ 1,59 кг/м³).

Количество воздуха, поступающего в колонну

$$G_{\text{ВОЗ}} = V_{\Gamma} \cdot (1 - y) \rho_{\text{ВОЗ}}; \quad (13.14)$$

где $\rho_{\text{ВОЗ}}$ – плотность воздуха при 20⁰С, 1,2 кг/м³.

Плотность газа, поступающего на абсорбцию:

$$\rho_{\Gamma} = (G_n + G_{\text{ВОЗ}}) / V_{\Gamma}; \quad (13.15)$$

Количество поглощенного продукта:

$$G_n = G_{\text{ВОЗ}} \cdot \varepsilon; \quad (13.16)$$

где ε – степень извлечения компонента из газовой фазы, в массовых долях.

Расход воды в абсорбер:

$$L = G_n / (\bar{X}_K - \bar{X}_H); \quad (13.17)$$

2. Определение скорости газа и диаметра абсорбера.

Принимаем в качестве насадки кольца Рашига с соответствующими характеристиками: удельная поверхность, свободный объем, эквивалентный диаметр (таблица 13.2).

Предельная скорость газа в насадочных абсорберах определяется по уравнению:

$$\lg \left[\frac{w_{\text{пред}}^2 \cdot f \cdot \rho_r}{g \cdot V_c^2 \cdot \rho_v} \cdot \left(\frac{\mu_n}{\mu} \right)^{0,16} \right] = A - B \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \left(\frac{\rho_r}{\rho_{\text{ж}}} \right)^{0,125}; \quad (13.18)$$

Рабочая скорость газа P в колонне: $\omega_p = (0,75 \div 0,9) \omega_{\text{инв}};$

где f – удельная поверхность насадки, $\text{м}^2 / \text{м}^3$ (см. таблицу);

V_c – свободный объем насадки, $\text{м}^3 / \text{м}^3$ (см. таблицу);

ρ_r и ρ_v – плотности газа и воды, $\text{кг} / \text{м}^3$; $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ кг} / \text{м}^3$;

μ_n – динамический коэффициент вязкости жидкости; $\mu_{\text{NO}_3} = 0,025 \text{ мПа} \cdot \text{с}$, $\mu_{\text{CO}_2} = 0,038 \text{ мПа} \cdot \text{с}$.

μ – вязкость воды при 20°C , $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$;

L и G – расход жидкости и газа, $\text{кг} / \text{с}$.

A и B – коэффициенты зависящие от типа насадки (для колец $A=0,022$ $B=1,75$).

Диаметр колонны:

$$D_K = \sqrt{4V_r / (\pi \omega_p)}; \quad (13.19)$$

Приняв стандартный диаметр колонны, уточняется скорость газа:

$$\omega_r = 4V_r / (\pi \cdot D_K^2); \quad (13.20)$$

Определяем плотность орошения

$$U = L / (0,785 D_K^2 \rho_{\text{ж}}); \quad (13.21)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность воды, равный $1000 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Оптимальная плотность орошения

$$U_{\text{опт}} = b \cdot f; \quad (13.22)$$

где b – коэффициент (при абсорбции аммиака водой $b = 4,38 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

при абсорбции паров оксида углерода водой $b = 2,58 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

Если плотность орошения меньше оптимальной плотности орошения $U < U_{\text{опт}}$, насадка будет недостаточно смочена; в связи с этим в процессе массопередачи будет участвовать не вся возможная поверхность. Для увеличения плотности орошения U следует применять насадку с меньшей удельной поверхностью. Максимальное смачивание ($\psi = 1$) насадки достигается при $U / U_{\text{опт}} < 1$. После выполнения всех условий можно продолжить расчет.

Для определения числа теоретических ступеней изменения концентраций строится график зависимости $y=f(x)$. По начальным и конечным концентрациям поглощаемого газа и поглотителя строим рабочую линию, т.е. прямую АВ, которая проходит через точки А ($\bar{Y}_н$, $\bar{Y}_к$) и В ($\bar{X}_н$, $\bar{X}_к$) (см. рисунок 13.2).

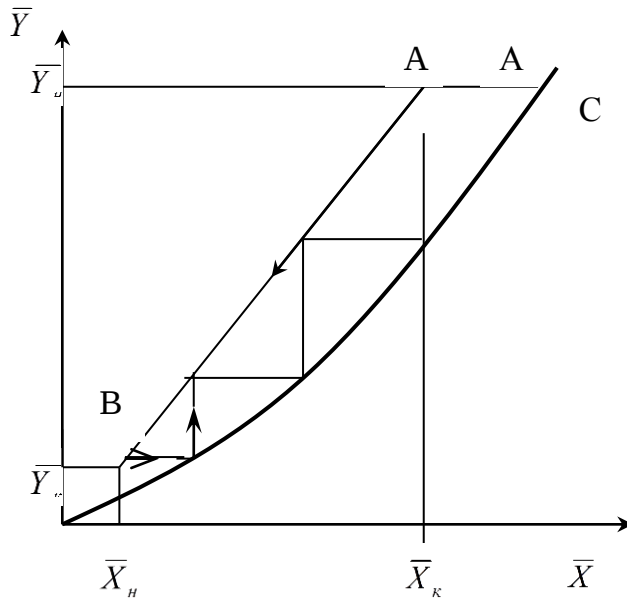


Рисунок 13.2.- Графическое определение числа теоретических тарелок

Она расположена выше линии равновесия, так как при абсорбции содержание компонента в газовой фазе выше равновесного. По заданным и расчетным данным ($\bar{X}$, $\bar{Y}^*$) строится линия равновесия. Определение числа теоретических тарелок поводится путем построения ступенчатой линии между точками А и В. Начало построения из точки В. Число точек пересечения с линией равновесия дает число теоретических тарелок.

3. Определение высоты насадочной колонны

Высота абсорбера определяется по формуле:

$$H = n \cdot H_n + h_c + h_n; \quad (13.23)$$

где H_n — высота насадки, эквивалентная одной ступени концентрации, м;

n — число ступеней определенных графическим методом;

h_c — высота сепарационного пространства в верхней части абсорбера, принимаем 0,5-1,5 м;

h_n — высота нижней части абсорбера, принимаем 1,5-2,7 м.

Высоту слоя насадки определяем, исходя из основного уравнения массопередачи:

$$H_n = \frac{F}{f \cdot S \cdot \psi} \quad (13.24)$$

где F — площадь поверхности контакта фаз насадки в аппарате, m^2 ;

f — удельная поверхность насадки, m^2 / m^3 (см. таблицу);

ψ — максимальное смачивание насадки, равное 1;

S – площадь насадки, м^2 .

Площадь поверхности контакта фаз насадки в аппарате определяют по формуле:

$$F = \frac{G_n}{K \cdot \Delta \bar{Y}_{cp}} \quad (13.25)$$

где G_n – количество поглощенного вещества, кг/с ;

K – коэффициент массопередачи по газовой фазе, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$;

$\Delta \bar{Y}_{cp}$ – средняя движущая сила, кг/кг воздуха .

Средняя движущая сила определяется по формуле:

$$\Delta \bar{Y}_{cp} = \frac{(\bar{Y}_n - \bar{Y}_{\bar{X}_k}) - (\bar{Y}_k - \bar{Y}_{\bar{X}_n})}{\ln \left(\frac{\bar{Y}_n - \bar{Y}_{\bar{X}_k}}{\bar{Y}_k - \bar{Y}_{\bar{X}_n}} \right)} \quad (13.26)$$

Коэффициент массопередачи определяется по формуле:

$$K = \left(\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x} \right)^{-1} \quad (13.27)$$

где β_y – коэффициент массоотдачи в газовой фазе, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$;

β_x – коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$;

$m = \bar{Y}_{\bar{X}_k}^* / \bar{X}_k$.

Коэффициент массоотдачи определяют по формуле:

$$\beta_y = 0,167 \left(\frac{D}{d_s} \right)^{-0,47} \cdot \text{Re}_z^{0,74} \cdot \text{Pr}_z^{0,33} \frac{D_z}{d_s} \quad (13.28)$$

где D – выбранный размер кольца, м ;

d_s – эквивалентный диаметр насадки, м ; определяется $d_s = 4V_c/f$;

Re_r – критерий Рейнольдса;

Pr_z – диффузионный критерий Прандтля.

D_r – коэффициент диффузии в газовой среде, $\text{м}^2/\text{с}$, $D_{\text{NO}_3} = 17,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$,

$D_{\text{CO}_2} = 13,80 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Критерий Рейнольдса:

$$\text{Re}_z = \frac{4\omega_z \cdot \rho_r}{f \cdot \mu_z} \quad (13.29)$$

где ω_z – скорость газа, м/с ;

ρ_r – плотность газа, кг/м^3 ;

f – удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

μ_r – динамический коэффициент вязкости газовой среды, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Вязкость газовой среды:

$$\frac{M_z}{\mu_z} = \frac{M_{\text{задангаза}}}{\mu_{\text{задангаза}}} + \frac{M_{\text{воздуха}}}{\mu_{\text{воздуха}}} \quad (13.30)$$

где M_r – мольная масса газовой фазы;

$M_{\text{задан.газа}}$ – мольная масса заданного газа, $M_{\text{NO}_3} = 17$ кг/кмоль;

$\mu_{\text{задангаза}}$ – динамический коэффициент вязкости заданного газа при $t = 20^\circ\text{C}$,

$\mu_{\text{NO}_3} = 0.104 \cdot 10^{-3}$ Па·с;

$M_{\text{воздуха}}$ – мольная масса воздуха, $M_{\text{воздуха}} = 29$ кг/кмоль;

$\mu_{\text{воздуха}}$ – динамический коэффициент вязкости воздуха при $t = 20^\circ\text{C}$,

$\mu_{\text{воздуха}} = 0.018 \cdot 10^{-3}$ Па·с;

Диффузионный критерий Прандтля

$$\text{Pr}_e = \frac{\mu_e}{\rho_e \cdot D_e}; \quad (13.31)$$

где D_r – коэффициент диффузии в газовой среде, $\text{м}^2/\text{с}$, $D_{\text{NO}_3} = 17.0 \cdot 10^{-6}$ $\text{м}^2/\text{с}$, $D_{\text{CO}_2} = 13.80 \cdot 10^{-6}$ $\text{м}^2/\text{с}$.

Дополнительно в содержании виртуальной лабораторной работы приведены основные понятия и изучаемые аппараты.

Оборудование:

1. Системный блок с CD-ROM с программным обеспечением «MSoffice», Flash Player 9, Internet Explorer 6.0
2. Монитор
3. Мышь
4. Клавиатура
5. CD-диск с Программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ с сайта fciog.ru (Абсорбция общие сведения)
6. Принтер

Контрольные вопросы: 1. В чем сущность процесса абсорбции? 2. Какие факторы способствуют абсорбции и десорбции? 3. Что является движущей силой абсорбции? Как она определяется? 4. Как определяется и от чего зависит высота слоя адсорбента? 5. Какие схемы абсорбции применяют в технике? 6. В чем заключается расчет насадочных и тарельчатых абсорберов? 7. Какие критериальные уравнения используются для расчетов коэффициентов массоотдачи в газовой и жидкой средах?

Темы 14, 15. Исследование работы барабанной сушилки. Построение процесса сушки

Цель занятия: Изучить схему и принцип действия лабораторной распылительной сушилки. Определить основные величины, характеризующие ее эффективность. Построить процесс сушки.

Основные понятия, методика выполнения работы, оборудование подробно приведены в учебном пособии [1].

Оборудование:

1. Системный блок с CD-ROM с программным обеспечением «MSoffice», Flash Player 9, Internet Explorer 6.0/
2. Монитор
3. Мышь
4. Клавиатура

5. CD-диск с Программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ «Процессы и аппараты пищевых производств».

Построение процесса сушки.

Цель занятия: Построение теоретического и реального графиков сушки в I-d диаграмме. Расчет процесса сушки.

Конвективная сушка продуктов является одним из наиболее распространённых способов сушки. Развитие подобного оборудования - довольно перспективное направление. В промышленных масштабах осуществляется сушка овощей, фруктов, мяса, рыбы и других продуктов. Технологические особенности данного процесса позволяют сохранить свойства исходного продукта. Дополнительно ставится задача получения новых качеств в готовом продукте. Для достижения этих целей необходимо соответствующее оборудование.

Передача тепла продукту при конвективной сушке осуществляется с помощью нагретого сушильного агента. Обычно это воздух или перегретый пар. Также могут применяться инертные газы, топочные газы или иные носители тепла. Температура сушильного агента выше температуры высушиваемого продукта. Тепловая энергия передаётся объекту сушки. При этом из него испаряется вода. Её пары уносятся сушильным агентом. В конвективной сушке выделяют:

- конвективную сушку в слое. Здесь применяются туннельные, камерные, петлевые, шахтные, ленточные, турбинные и валковые сушильные установки;
- конвективную сушку с сопловым обдувом;
- конвективную сушку в полувзвешенном и взвешенном состоянии. Используются барабанные сушилки, сушилки с кипящим слоем, пневматические трубы-сушилки, сушилки с вихревым потоком, распылительные сушилки.

Все установки для сушки продуктов конвективным методом имеют общие принципы работы и довольно простую конструкцию. Удельные затраты энергии такого оборудования довольно высоки. Они могут составлять от 1,6 до 2,5 кВт·ч/кг. Такое энергопотребление усугубляется ещё и тем, что в процессе сушки имеются потери тепла вследствие нагрева самой установки и окружающей среды. При необходимости увеличения производственной мощности сушильного оборудования нужно увеличивать температуру теплоносителя (сушильного агента). В результате есть риск перегреть высушиваемый продукт, что особенно актуально на заключительной стадии сушки, когда большая часть влаги из продукта уже удалена. Следующим недостатком, сильно влияющим на качество готового продукта, является то, что влага испаряется только с поверхности высушиваемого продукта. В результате на этой поверхности образуется плёнка затрудняющая теплообмен. Продукт теряет цвет, вкус и аромат его изменяются, степень восстановления готового продукта снижается. Это в свою очередь сказывается на качестве продукции. Для конвективной сушки характерны высокая температура и значительная продолжительность всего процесса сушки. Результатом этого могут стать окислительные процессы, снижающие содержание витаминов и других полезных веществ в готовом продукте. Плюс первичная микрофлора не уничтожается полностью.

Сушильные установки конвективного типа имеют простую конструкцию и сравнительно невысокую стоимость. Однако энергетическая эффективность их будет зависеть от стоимости применяемого энергоносителя.

I-d диаграмма влажного воздуха была создана в 1918 году Л.К. Рамзиным, рисунок 9.1. Плодами труда этого русского учёного пользуются до сих пор. Его

диаграмма в настоящее время остаётся верным и надёжным инструментом при расчётах основных свойств влажного воздуха.

Так как расчёт изменения состояния атмосферного воздуха связан с проведением сложных вычислений, то обычно пользуются более простым и удобным методом. Т.е. применяют расчёт, основанный на I-d диаграмме Рамзина, которую ещё называют психрометрической диаграммой.

В координатах i-d диаграммы нанесены зависимости основных параметров влажного воздуха. Это температура, влагосодержание, относительная влажность, энтальпия. При заданном барометрическом давлении по оси ординат откладывают энтальпию на 1 кг сухого воздуха (кДж/кг). По оси абсцисс откладывают влагосодержание воздуха в г на 1 кг сухого воздуха.

Система координат i-d диаграммы является косоугольной. Угол между осями равен 135° . Такое расположение осей позволяет расширить область ненасыщенного влажного воздуха. Таким образом, диаграмма становится более удобной для графических построений.

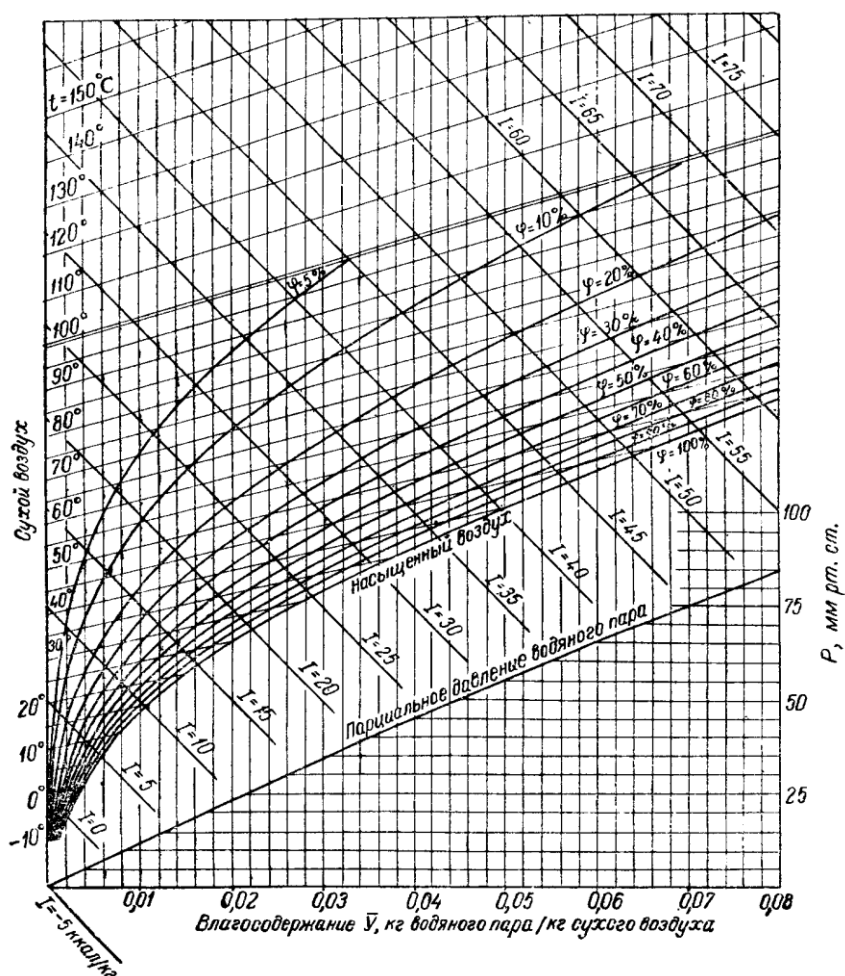


Рисунок 13.1 – Диаграмма Рамзина. ID-диаграмма состояний влажного воздуха.

Линии постоянной энтальпии $I=\text{const}$ проходят под углом 135° к оси ординат. Линии постоянного влагосодержания $d=\text{const}$ проходят параллельно оси ординат. Образованная линиями $I=\text{const}$ и $d=\text{const}$ сетка состоит из параллелограммов. На них строят линии изотерм $t=\text{const}$ и линии постоянных относительных влажностей $\varphi=\text{const}$.

Стоит отметить, что хоть изотермы и представляют собой прямые линии, но они вовсе не параллельны между собой. Угол их наклона к горизонтальной оси различен. Чем ниже температура, тем более параллельны изотермы между собой. Линии температур, изображённые на диаграмме, соответствуют значениям по сухому термометру.

Кривую с относительной влажностью $\phi=100\%$ строят исходя из данных таблиц насыщенного воздуха. Выше этой кривой на диаграмме располагается область ненасыщенного влажного воздуха. Соответственно ниже этой кривой расположена область перенасыщенного влажного воздуха. Влага насыщенного воздуха, характеризующаяся данной областью, находится в жидком или твёрдом состоянии. Т.е. представляет собой туман. Данная область диаграммы не используется в расчётах характеристик влажного воздуха, поэтому её построение опускается.

Все точки диаграммы характеризуют конкретное состояние влажного воздуха. Чтобы определить положение любой точки нужно знать два параметра состояния влажного воздуха из четырёх - I , d , t или ϕ .

Влажный воздух в любой точке i - d диаграммы характеризуется определённым влаго- и теплосодержанием. Все точки расположенные выше кривой $\phi=100\%$, характеризуют такое состояние влажного воздуха, при котором водяной пар в воздухе находится в перегретом состоянии. Точки, расположенные на кривой $\phi=100\%$, так называемой кривой насыщения, характеризуют насыщенное состояние водяного пара в воздухе. Все точки, расположенные ниже кривой насыщения, характеризуют состояние, при котором температура влажного воздуха ниже температуры насыщения. Следовательно, в воздухе будет находиться влажный пар. Это означает, что влага в воздухе будет состоять из смеси сухого пара и капелек воды.

При решении практических задач i - d диаграмма применяется не только для вычисления параметров состояния воздуха. С её помощью также строят изменения его состояния при процессах нагревания, охлаждения, увлажнения, осушения, а также их произвольном сочетании. В расчётах часто используются такие параметры воздуха как температура точки росы t_p и температура мокрого термометра t_m . Оба параметра могут быть построены на i - d диаграмме.

Температура точки росы t_p – это температура, соответствующая значению до которого должен быть охлаждён влажный воздух, чтобы стать насыщенным при постоянном влагосодержании ($d=\text{const}$). На i - d диаграмме температура точки росы t_p определяется следующим образом. Берётся точка, характеризующая заданное состояние влажного воздуха. Из неё проводим параллельно оси ординат прямую до пересечения с кривой насыщения $\phi=100\%$. Та изотерма, которая будет пересекать эту кривую в полученной точке, и будет показывать температуру точки росы t_p при заданном влагосодержании воздуха.

Температура мокрого термометра t_m – это температура при которой влажный воздух, охлаждаясь становится насыщенным при постоянном влагосодержании. Для определения температуры мокрого термометра на i - d диаграмме делают следующее. Через точку, характеризующую заданное состояние влажного воздуха проводят линию постоянной энтальпии $I=\text{const}$ до пересечения с кривой насыщения $\phi=100\%$. Значение температуры мокрого термометра будет соответствовать изотерме, проходящей через точку пересечения.

На i-d диаграмме все процессы перехода воздуха из одного состояния в другое изображаются лучами, проходящими через точки, характеризующие начальное и конечное состояние влажного воздуха.

Как применять i-d диаграмму влажного воздуха? Как уже говорилось выше для определения состояния воздуха нужно знать любые два параметра диаграммы. Например, возьмем какую-либо температуру по сухому термометру и какую-либо температуру по мокрому термометру. Найдя точку пересечения линий этих температур, получим состояние воздуха при заданных температурах. Таким образом, данная точка чётко характеризует состояние воздуха. Аналогично примеру, по этим температурам можно найти состояние воздуха в любой точке i-d диаграммы.

Задание Рассчитать непрерывно действующую сушилку, работающую по нормальному сушильному процессу при следующих данных:

1. Производительность сушилки по влажному материалу - m , т/час
2. Начальная влажность материала – W_1 , %
3. Конечная влажность материала - W_2 , %
4. Теплёмкость высушенного материала - C_m , кДж/(кг°С)
5. Масса транспортного устройства – $m_{тр}$, кг/час
6. Теплёмкость транспортного устройства – $C_{тр}$, кДж/(кг°С)
7. Относительная влажность воздуха на входе в калорифер - ϕ_1 , %
8. Относительная влажность воздуха на выходе из сушилки - ϕ_2 , %
9. Температура материала на входе в сушилку - θ_1 , °С
10. Температура материала на выходе из сушилки - θ_2 , °С
11. Температура воздуха на выходе из калорифера - t_p , °С
12. Температура транспортного устройства на входе в сушилку – t_n^T , °С
13. Температура транспортного устройства на выходе из сушилки - t_k^T , °С
14. Тепловые потери в окружающую среду от суммы всех остальных слагаемых: теплового баланса Q_{jn} , %
15. Температура наружного воздуха - t_o , С
16. Воздух в сушильной камере не подогревается.

Преподавателем выдаются исходные данные к расчетам из таблицы 9.1 по номеру зачетной книжки.

Таблица 13.1 – Исходные данные для построения процесса в диаграмме Рамзина и расчета конвективной сушилке.

Величина	Единица измерения	По последней цифре шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m	т/час	1	2	3	4	5	1,5	2,5	3,5	4,5	3
W_1	%	30	31	30	33	30	35	31	32	34	34
w_2	%	10	10	11	10	9	1,1	9	10	10	11
C_m	кДж/кг °С	2,14	2,18	2,14	2,22	2,34	2,37	2,28	2,20	2,25	2,5
$m_{тр}$	кг/час	7	10	21	31	40	11	18	26	37	20
$C_{тр}$	кДж/кг °С	1,57	1,54	1,6	1,65	1,59	1,62	1,55	1,68	1,5	1,6

t_n^T	$^{\circ}\text{C}$	20	20	15	15	20	25	22	23	25	18
t_k^T	$^{\circ}\text{C}$	5,0	60	50	55	50	50	55	60	50	55
Q_{jn}	%	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	10	9,5	11
θ_1	$^{\circ}\text{C}$	10	10	12	14	15	10	11	12	13	12
θ_2	$^{\circ}\text{C}$	50	50	44	48	46	50	47	50	50	45
		По предпоследней цифре шифра									
φ_1	%	68	65	69	69	70	67	63	63	68	69
φ_2	%	60	62	61	60	63	60	58	56	59	60
t_p	$^{\circ}\text{C}$	100	110	95	95	105	105	90	120	100	110
t_o	$^{\circ}\text{C}$	20	22	21	20	20	19	18	21	18	22

Методика расчета

1. Определяют количество испаренной влаги в сушилке по уравнению:

$$W = m \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2}, \text{ кг/с} \quad (13.1)$$

2. По диаграмме I-x определяют влагосодержание X_o , X_2 и энтальпию I_o , I_2 воздуха до калорифера и воздуха, выходящего из сушилки.

3. Расход сухого воздуха в сушилке на испарение W кг влаги в секунду определяют по уравнению:

$$L = \frac{W}{X_2 - X_o}, \text{ кг/с} \quad (13.2)$$

4. Расход тепла в теоретической сушилке определяют по уравнению:

$$Q = L(I_2 - I_o), \text{ кВт} \quad (13.3)$$

5. В реальной сушилке существует следующий расход тепла:

- на нагрев продукта:

$$Q_m = (m - W) C_m (\theta_2 - \theta_1), \text{ кВт} \quad (13.4)$$

- на нагрев транспортирующих устройств:

$$Q_{тр} = m_{тр} \cdot C_{тр} \cdot (t_{тр}^k - t_{тр}^n), \text{ кВт} \quad (13.5)$$

- тепло, вносимое влагой, находящейся в продукте:

$$Q_{вл} = W \cdot \theta_1 \cdot C_v, \text{ кВт} \quad (13.6)$$

где C_v – теплоемкость воды – среднее значение на интервале температур (θ_1 , θ_2).

6. Общее количество тепла, подводимое в калорифер, с учетом потерь в окружающую среду определяют по уравнению:

$$Q_{общ} = (Q + Q_m + Q_{тр} - Q_{вл}) \cdot (100 + Q_{jn}), \text{ кВт} \quad (13.7)$$

7. Сравнительный расход тепла в теоретической и реальной сушилке:

$$\beta = \frac{Q_{общ} - Q}{Q} \cdot 100, \% \quad (13.8)$$

8. Температура t_p воздуха после калорифера определяется по диаграмме I-x, для чего предварительно определяют:

$$I_1 = \frac{Q_{общ}}{L}, \text{ кДж/кг} \quad (13.9)$$

I_1 соответствует на I-x искомая t_1 .

9. Температуру греющего пара принимают на 10°C выше t_1 :

$$t_{\text{гр.пара}} = t_1 + 10^0 \text{C} \quad (13.10)$$

По таблице насыщенного пара находят его параметры.

10. Расход греющего пара определяют по уравнению:

$$D = \frac{Q_{\text{общ}}}{I_{\text{п}} - I_{\text{к}}}, \text{ кг} \quad (13.11)$$

где $I_{\text{п}}$ - энтальпия пара, кДж/кг; $I_{\text{к}}$ - энтальпия конденсата, кДж/кг.

11. Удельный расход пара определяют по уравнению:

$$d = \frac{D}{W}, \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad \frac{\text{пара}}{\text{испаренной} \cdot \text{влаги}} \quad (13.12)$$

12. Построение сушильного процесса в I-x диаграмме.

Построение течения теоретического и реального процесса сушки в I-x диаграмме показано на рисунке 14.2.

12.1. Теоретический сушильный процесс идет по кривой ABC с параметрами в точках:

A (x_0, I_0, t_0, φ_1) - начало процесса

B (x_1, I_2, t_2, φ_2) - конец нагрева.

Нагрев происходит без изменения влагосодержания ($x_1 = x_0$)

C (x_2, I_2, t_2, φ_2) - конец процесса теоретической сушки.

Течение процесса происходит без изменения энтальпии ($I_2 = I_1$).

12.2. Реальный сушильный процесс идет по кривой ABC'.

Для определения положения точки C' на диаграмме на прямой BC произвольно выбирают точку L с влагосодержанием x^* . Некоторая точка K, которая должна лежать на прямой BC' реального процесса имеет энтальпию I^* , значение которой определяют аналитически по уравнению:

$$I^* = I_1 \pm Q_{\text{общ}} (x^* - x_0), \text{ кДж/кг} \quad (13.13)$$

Таким образом, найдены параметры точки K (x^*, I^*, t^*, φ^*). Далее, через точку B и K проводят прямую до пересечения с изотермой t_2 в точке C', которая и является искомой, имея параметры $x'_2, I'_2, t'_2, \varphi'_2$, найденные по диаграмме по температуре ($t'_2 = t_2$)

Рекомендации по выбору положения точки L на BC.

Положение точки L рекомендуется выбирать во второй половине отрезка BC ближе к точке B, чтобы не попасть в «мертвую» зону CC'.

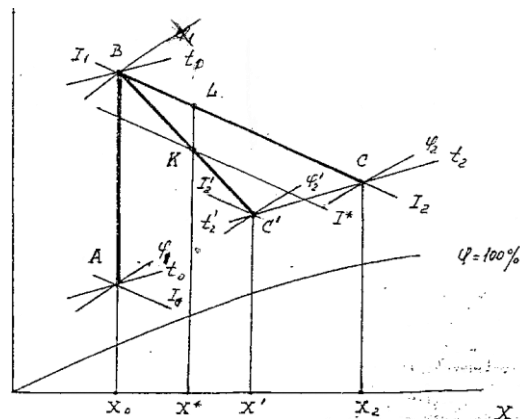


Рисунок 13.2 - Построение теоретического и реального процесса сушки в диаграмме

Контрольные вопросы: 1. Каковы достоинства и недостатки применения конвективной сушки? 2. Как применять i-d диаграмму влажного воздуха? 3. Что такое температура точки росы? 4. Какие параметры влажного воздуха отражены на диаграмме Рамзина? 5. Чем теоретический процесс сушки отличается от реального?

Тема 16.

Расчет ректификационной колонны

Цель: Рассчитать ректификационную тарельчатую колонну непрерывного действия для разделения бинарной смеси летучих компонентов.

Исходная смесь: последнее четное число зачетки – (этиловый спирт-вода); последнее нечетное число зачетки – (метиловый спирт-вода);

Давление в паровом пространстве дефлегматора 0,1 МПа.

Наименование	Обз.	Предпоследнее число зачетки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Производительность по исходной смеси, кг/с	F	5	6	5,5	8	6,5	7	4,5	8,5	7	6
Содержание легколетучего компонента, %: -в исходной смеси -в дистилляте -в кубовом остатке	$\bar{x}_F$	30	35	25	32	28	30	26	33	27	34
	$\bar{x}_P$	92	94	91	95	98	90	95	92	91	93
	$\bar{x}_W$	3	2,5	3,2	3,5	1,8	4	3	3,5	4	3,2
Начальная температура исходной смеси, °С	t_F	20	30	25	35	24	28	32	35	25	30
Абсолют. давление насыщенного вод. пара, МПа	P	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2
Начальная температура охлаждающей воды, °С	$t_{ув.н.}$	18	20	22	18	21	24	24	20	21	24

1. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС КОЛОННЫ И РАБОЧЕЕ ФЛЕГМОВОЕ ЧИСЛО

Производительность колонны по дистилляту P и кубовому остатку W определим из материального баланса колонны:

$$F = P + W \qquad F \bar{x}_F = P \bar{x}_P + W \bar{x}_W \qquad (1-2)$$

Отсюда находим

$$W = \frac{F(\bar{x}_P - \bar{x}_F)}{\bar{x}_P - \bar{x}_W} \qquad (3)$$

где F -расход исходной смеси, кг/с;

P -расход дистиллята, кг/с;

W-расход кубового остатка, кг/с;

$\bar{x}_F$ -концентрация жидкой фазы в исходной смеси, в массовых долях;

$\bar{x}_P$ -концентрация жидкой фазы в дистилляте, в массовых долях;

$\bar{x}_W$ -концентрация жидкой фазы в кубовом остатке, в массовых долях;

Для дальнейшего расчета необходимо концентрации исходной смеси x_F , дистиллята x_P и кубового остатка x_W выразить в мольных долях:

$$x_F = \frac{\bar{x}_F / M_{спирт}}{\bar{x}_F / M_{спирт} + (1 - \bar{x}_F) / M_{вода}} \quad (4)$$

где $M_{спирт}$ и $M_{вода}$ - молекулярные массы соответственно спирта и воды, ($M_{вода}=18$ кг/кмоль, $M_{этил. спирт}=46$ кг/кмоль, $M_{метил. спирт}=32$ кг/кмоль,)

Аналогично найдем содержание легколетучего компонента в дистилляте x_P и содержание легколетучего компонента в кубовом остатке x_W .

На основании справочных данных о температурах кипения, равновесных составах жидкости и пара при 0,1 МПа для рассматриваемой бинарной смеси строят кривую температур кипения смеси и кривую равновесия в координатах x - y .

На диаграмме x - y наносят точку A с координатами $x_W = y_W$ и точку C с координатами $x_P = y_P$, а на кривой равновесия точку B' с абсциссой x_F . Из точки C через точку B' проводят прямую до пересечения с ординатой диаграммы. На оси ординат отсекается отрезок, равный B_{max} , тогда минимальное флегмовое число R_{min} , равно:

$$R_{min} = \frac{x_P - B_{max}}{B_{max}} \quad (5)$$

Минимальное флегмовое число R_{min} соответствует положение линий рабочих концентраций AB , BC и может быть проверено по формуле:

$$R_{min} = \frac{x_P - y_F^*}{y_F^* - x_F} \quad (6)$$

В уравнения рабочих линий входит R (рабочее флегмовое число), которой определяется как

$$R = 1,3R_{min} + 0,3R = \beta R_{min} \quad (7)$$

где β - коэффициент избытка флегмы равен $1,2 \div 2,5$.

2. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

Тепловой расчет ректификационной колонны непрерывного действия с дефлегматором составляется для определения греющего пара на процесс ректификации.

Для выполнения тепловых расчетов определим температуры кипения и теплоемкости исходной смеси (t_F ; c'_F), дистиллята (t_P ; c'_P) и кубового остатка (t_W ; c'_W); для воды при тех же температурах теплоемкость практически постоянна и равна 4190

$$\frac{Дж}{(кг \cdot K)}.$$

Теплоемкость исходной смеси, представляет смесь спирта и воды, и определяются по формуле:

$$c_F = c'_F \cdot \bar{x}_F + c_{вода} \cdot (1 - \bar{x}_F) \quad (8)$$

Аналогично найдем теплоемкости в дистилляте c_P и в кубовом остатке c_W .

Определим теплоту парообразования флегмы, которая равна теплоте парообразования дистиллята при температуре кипения t_P :

$$r_\phi = r_P = r_{\text{спирт}} \cdot \bar{x}_P + r_{\text{вод.пара}}(1 - \bar{x}_P) \quad (9)$$

Энтальпия пара, низкокипящего компонента, выходящего из колонны определяется по формуле:

$$i_\phi = i_P = r_P + c_P \cdot t_P \quad (10)$$

Приход		Расход	
1.с исходной смесью	$Q_1 = F \cdot c_F \cdot t_F$	1.с кубовым остатком	$Q_4 = W \cdot c_W \cdot t_W$
2.с флегмой	$Q_2 = \Phi \cdot c_\phi \cdot t_\phi$	2.с парами низкокипящего компонента из колонны	$Q_5 = G \cdot i_n$
3.с греющим паром	$Q_3 = G_{\text{э.н}} \cdot I_{\text{э.н}}$	3. с конденсатом греющего пара	$Q_6 = G_{\text{э.н}} \cdot i_\kappa$
		4. потери теплоты в окружающую среду $Q_{\text{ном}}$	$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_{\text{ном}}$

Расход теплоты в кубе колонны с учетом тепловых потерь определяем по формуле:

$$Q = W(c_W \cdot t_W - t_F \cdot c_F) + P \cdot R \cdot r_\phi + P(i_n - t_F \cdot c_F) + Q_{\text{ном}} \quad (11)$$

Расход греющего пара в кубе колонны:

$$G_{\text{э.н}} = \frac{Q}{(I_{\text{э.н}} - i_\kappa)} \quad (12)$$

Принимая повышение температуры в холодильниках на $t_o = 20^\circ\text{C}$, определяем расход воды:

в дефлегматоре: $G' = \frac{P \cdot r_P \cdot (R - 1)}{c_\phi \cdot t_o} \quad (13)$

в холодильнике дистиллята: $G'' = \frac{P \cdot c_P \cdot (t_{P1} - t_{P2})}{c_\phi \cdot t_o} \quad (14)$

в холодильнике кубового остатка: $G''' = \frac{P \cdot c_W \cdot (t_{W1} - t_{W2})}{c_\phi \cdot t_o} \quad (15)$

Общий расход воды равен:

$$G = G' + G'' + G''' \quad (16)$$

3.ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

3.1Определение объёмов пара и жидкости, проходящих через колонну.

Сначала определим мольные массы жидкостей и паров, средние мольные и массовые концентрации жидкостей и паров колонны:

Наименование	Обозначение	Верхняя часть колонны	Нижняя часть колонны
--------------	-------------	-----------------------	----------------------

Средний мольный состав жидкости	$x_{ср.в};$ $x_{ср.н}$	$x_{ср.в} = \frac{x_P + x_F}{2}$	$x_{ср.н} = \frac{x_F + x_W}{2}$
Средний массовый состав жидкости	$\bar{x}_{ср.в};$ $\bar{x}_{ср.н}$	$\bar{x}_{ср.в} = \frac{\bar{x}_P + \bar{x}_F}{2}$	$x_{ср.н} = \frac{\bar{x}_F + \bar{x}_W}{2}$
Средняя мольная масса жидкости	$M_{ж.в};$ $M_{ж.н}$	$M_{ж.в} = M_{спирт} \cdot x_{ср.в} + M_{вода}(1 - x_{ср.в})$	$M_{ж.н} = M_{спирт} \cdot x_{ср.н} + M_{вода}(1 - x_{ср.н})$
Средний мольный состав пара	$y_{ср.в};$ $y_{ср.н};$	$y_{ср.в} = \frac{y_P + y_F}{2}$	$y_{ср.н} = \frac{y_F + y_W}{2}$
Средняя мольная масса паров	$M_{н.в};$ $M_{н.н}$	$M_{н.в} = M_{спирт} \cdot y_{ср.в} + M_{вода}(1 - y_{ср.в})$	$M_{н.н} = M_{спирт} \cdot y_{ср.н} + M_{вода}(1 - y_{ср.н})$
Средняя плотность жидкости	$\rho_{ж.в};$ $\rho_{ж.н}$	$\rho_{ж.в} = \rho_{спирт} \cdot y_{ср.в} + \rho_{вода}(1 - y_{ср.в})$	$\rho_{ж.н} = \rho_{спирт} \cdot y_{ср.н} + \rho_{вода}(1 - y_{ср.н})$
Средняя плотность пара	$\rho_{п.в};$ $\rho_{п.н}$	$\rho_{п.в} = \frac{M_v}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + \frac{t_P + t_F}{2}}$	$\rho_{п.н} = \frac{M_n}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + \frac{t_W + t_F}{2}}$
Массовый расход жидкости	$L_v;$ L_n	$L_v = \Phi = P \cdot R \frac{M_{ж.в}}{M_P} =$ $P \cdot R \frac{M_v}{M_{спирт} \cdot x_P + M_{вода} \cdot (1 - x_P)}$	$L_n = \Phi + F = P \cdot R \frac{M_{ж.н}}{M_P} + F \frac{M_{ж.н}}{M_F}$
Массовый поток пара	$G_v;$ G_n	$G_v = P(R+1) \frac{M_{п.в}}{M_P}$	$G_n = P(R+1) \frac{M_{п.н}}{M_P}$

3.2. Расчет скорости пара и диаметра колонны.

Предельно допустимая скорость паров в колонне с ситчатыми тарелками находится для верхней и нижней части колонны по формуле:

$$w_{пред} = 0,05 \sqrt{\frac{\rho_{ж}}{\rho_n}} \quad (17)$$

В соответствии с рекомендациями рабочую скорость паров в колонне определяем по формуле:

$$w_p = (0,75 \div 0,9) w_{пред} \quad (18)$$

Тогда

$$w_{ср} = \frac{w_{ср.в} + w_{ср.н}}{2} \quad (19)$$

Ориентировочный диаметр верхней и нижней части колонны определяют по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot w_p \cdot \rho_{пара}}} \quad (20)$$

Тогда $D = (D_e + D_n)/2$ (21)

Принимаем ректификационную колонну с табличным значением диаметра и ведем пересчет действительной рабочей скорости

$$w_p = w_{cp}(D/D_{дейст.}) \quad (22)$$

3.3. Расчет высоты ректификационной колонны.

Для определения высоты колонны необходимо рассчитать число действительных тарелок

$$N = n_T / \eta \quad (23)$$

где η -к.п.д. тарелки, находится в пределах $(0,3 \div 0,8)$;

n_T -число теоретических тарелок, которое находится графическим методом построения между равновесной и рабочей линиями на y - x диаграмме.

Для этого построим линии рабочих концентраций укрепляющей и исчерпывающей части колонны. На ось ординат откладываем отрезок OD , величина которой определяется по формуле

$$OD = b = x_p / (R + 1) \quad (24)$$

На оси ординат наносим состав кубового остатка x_W , исходной смеси x_F и дистиллята x_D . Из точек x_W и x_D проводим вертикальные прямые до пересечения с диагональю (точки A и C). Проводим прямую через точки D и C . Из точки x_F проводим вертикальную прямую до пересечения с прямой DC (точка B). Соединим точку A и B .

Отрезок AB - линия рабочих концентраций исчерпывающей части колонны;

Отрезок BC - линия рабочих концентраций укрепляющей части колонны.

Число теоретических тарелок находим путём построения ступенчатой линии между линией равновесия и линиями рабочих концентраций в пределах от x_D до x_W . От точки A до точки B количество построенных ступеней соответствует количеству теоретических тарелок в нижней части колонны, от точки B , до точки C - верхней части колонны.

Высота тарельчатой колонны определяют по уравнению:

$$H = H_T + h_1 + h_2 \quad (25)$$

Где $H_T = (n-1)h$ -высота тарельчатой части колонны, м;

h_1 -высота сепарационной части колонны, м;

h_2 - расстояние от нижней тарелки до днища, м;

h -расстояние между тарелками, м;

n -число тарелок.

Тема 17. Исследование работы экстрактора.

Цель занятия: Изучить эскиз и принцип действия ленточного экстрактора. Определить производительность, найти характеристики жмыха, поступающего в экстрактор.

Классификация экстракторов

Для того, чтобы оборудование для проведения экстрагирования в системе твердое тело - жидкость отвечало требованиям современного высокоэффективного производства (большая единичная мощность аппарата при низкой относительной металлоемкости, глубокое извлечение экстрагируемого вещества при минимальной длительности процесса и т. д.), оно должно обеспечивать протекание процесса в условиях, наиболее близких к противотоку при минимальных гидродинамическом сопротивлении относительному движению фаз, соотношении расхода масс экстрагента и твердых частиц, и суммарном внутреннем, и внешнем диффузионном сопротивлении.

Частицы, подвергаемые экстрагированию, весьма разнообразны по физическим свойствам (плотности, консистенции, упругости, собственной пористости, диффузионному сопротивлению и др.), форме и строению, причем эти свойства могут существенно изменяться в процессе. Велик и диапазон размеров частиц (от 10^{-6} м до 10^{-1} м). В связи с большим разнообразием физических свойств материалов, подвергающихся экстрагированию, размеров и форм частиц весьма многообразны и конструкции экстракторов.

Классификация их может быть основана на многих признаках. По режиму работу экстракторы делятся на периодические, полунепрерывные и непрерывные; по взаимному направлению движения экстрагента и твердых частиц -- на противоточные, прямоточные, с периодическим процессом, процессом полного (идеального) смешения, процессом в слое и комбинированными процессами; по виду циркуляции -- на экстракторы с однократным прохождением экстрагента, с рециркуляцией экстрагента и оросительные; по давлению в экстракторе -- на атмосферные, вакуумные и работающие под давлением; по свойствам твердых частиц, участвующих в процессе, -- на экстракторы для крупнозернистых, мелкозернистых, тонкодисперсных, пастообразных, волокнистых и других материалов.

Конструктивно основные типы экстракторов классифицируются по неоднородным признакам: по виду корпуса аппарата -- колонные и камерные; по виду транспортного органа -- шнековые, лопастные, щепные, ковшовые, ротационные, ленточные; по расположению корпуса аппарата -- горизонтальные, вертикальные и наклонные.

По гидродинамическому характеру процесса, протекающего в аппарате, экстракторы делятся на аппараты с неподвижным слоем твердых частиц, движущимся слоем и кипящим (взвешенным) слоем.

В название аппарата обычно входит один из перечисленных выше признаков, хотя в его конструкции имеются и другие важные конструктивные признаки, поэтому обычно название аппарата далеко не полно характеризует его основные конструктивные особенности. Наиболее общая классификация экстракторов по конструктивному принципу включает такие их типы: колонные, ротационные, шнековые (двухшнековые наклонные), оросительные, аппараты с кипящим слоем, камерные и батарейные.

ЭКСТРАКТОРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО И ПОЛУПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Экстракторы периодического и полупериодического действия относятся к несовершенному виду оборудования. Тем не менее во многих отраслях металлургической, химической, целлюлозно-бумажной, фармацевтической, пищевой и мясо - молочной промышленности они до сих пор имеют достаточно широкое распространение. Если для некоторых категорий получаемых экстрактов и настоев в отдельных отраслях фармацевтической, пищевой и мясо - молочной промышленности,

где производятся небольшие партии продукции весьма многочисленных наименований, применение периодической аппаратуры можно считать оправданным, то для большинства перечисленных производств вопрос о переходе к непрерывно действующим аппаратам с режимом интенсивного массообмена между фазами является исключительно актуальным.

В качестве основных типов экстракторов периодического действия получили распространение камерные аппараты (реакторы) с механическим, пневматическим и пневмомеханическим перемешиванием, а также настоящие чаны с неподвижным слоем твердых частиц с циркуляцией (перколяторы) и без циркуляции экстрагента.

Камерные аппараты (реакторы) обычно представляют собой сосуды цилиндрической формы с плоским или коническим днищем, выполненные из обычной или нержавеющей стали и покрытые внутри (если экстрагент представляет собой агрессивную среду) слоем или несколькими слоями кислотоупорного материала.

При центральном аэролифте пульпа (смесь твердых частиц и экстрагента) сгребается мешалкой к центральной трубе, в которую подается воздух, поднимается по трубе вверх, вследствие меньшей плотности жидкости, содержащей воздушные пузыри, и растекается сверху по желобам к периферии аппарата. Затем частицы оседают на дно и вновь сгребаются к центру аппарата. Мешалка делает 2--4 об/мин.

В реакторах с периферическими аэролифтами воздух подается по трубкам 1 внутрь труб 2, откуда пульпа попадает в центральную трубу 3 и затем на мешалку 4, с помощью которой разбрасывается по сечению аппарата и вновь попадает в центральную трубу.

Аппараты подобного типа имеют обычно высоту от 2 до 4,5 м и соответственно диаметр от 2 до 9 м.

Процесс в таких аппаратах протекает как периодический или, при соединении нескольких подобных аппаратов в виде каскада реакторов, как приближающийся к прямоточному.

Процесс в таких аппаратах протекает мало интенсивно, поскольку перемешивание происходит с очень небольшой скоростью и имеются условия для образования сгустков твердых частиц, в которые экстрагент мало или почти не проникает. Весьма медленным является и последующий процесс разделения твердых частиц и экстрагента. Кроме того, этим аппаратом свойственны все отмеченные выше недостатки периодического (замкнутого) и прямоточного процессов и известные недостатки периодического процесса вообще.

Экстрагирование в неподвижном (плотном) слое частиц жидкостью, фильтрующейся через этот слой, производят в аппаратах, которые носят название диффузоров, или перколяторов. Конструктивно такие аппараты представляют собой сосуд цилиндрической, конической или прямоугольной формы, имеющий в нижней части ложное перфорированное днище. Циркуляция экстрагента, фильтрующегося через слой, обеспечивается насосом. Больших размеров для пищевой и фармацевтической промышленности выполняют с мешалками. Процесс экстрагирования в этих аппаратах является периодическим.

Аппараты малых объемов для экстрагирования в плотном слое располагаются обычно вертикально и имеют комбинированную форму: в основной своей части -- цилиндрическую и с одного или обоих концов -- форму усеченного конуса. Верхнее отверстие служит для загрузки аппарата твердыми частицами, нижнее -- для выгрузки. К этим отверстиям плотно прижимаются крышки с помощью специального механического или гидравлического устройства.

Разделительное сито может находиться над нижней или под верхней крышками диффузора.

Последовательное соединение группы из 4--16 таких аппаратов позволяет проводить процесс полупериодически. При этом он может протекать по двум схемам.

1. Определенный период времени во всех аппаратах жидкость неподвижна, затем происходит продвижение экстрагента из аппарата в аппарат. Такой процесс должен рассматриваться как комбинированный прямоточно-противоточный процесс, и число необходимых аппаратов или конечные параметры процесса должно рассчитываться по алгоритму.

2. После подключения очередного диффузора, со свежим материалом сразу же начинается движение экстрагента, которое прерывается только на период подключения очередного аппарата. В этом случае процесс приближается к противоточному.

Группа последовательно соединенных аппаратов носит название батареи. Для поддержания соответствующего температурного режима между каждой парой диффузоров может устанавливаться теплообменник.

Замкнутая система коммуникаций позволяет периодически отключать один из аппаратов от циркуляционной системы, освобождать его от полностью истощенного материала и заполнять свежим. После этого аппарат вновь включается в систему циркуляции и в него поступает наиболее обогащенный экстрагент, прошедший через все остальные $p - 1$ или $p - 2$ аппарата, и отключается следующий: аппарат, в который до этого поступал чистый растворитель. Чем больше число аппаратов, тем ближе процесс к непрерывному. Главным недостатком батарейных аппаратов, которые еще широко применяются в целлюлозно-бумажной, легкой, фармацевтической, пищевой и других областях промышленности, является большая затрата ручного труда при их эксплуатации, значительные потери экстрагируемого вещества (частицы нередко выгружаются вместе с последними порциями растворителя, поступившего в аппарат), большая металлоемкость и трудность регулирования процессов, невозможность его механизации и автоматизации. Достоинством этого аппарата является то, что неподвижно лежащий в нем слой частиц не разрушается в процессе экстрагирования; это во многих случаях обеспечивает улучшение гидродинамических условий процесса и более высокое качество экстракта, а также возможность осуществить любой температурный режим, поскольку экстрагент переходит из одного аппарата в другой через теплообменник.

Применение единичных аппаратов этого типа целесообразно для проведения экстрагирования настаиванием в тех случаях, когда процесс протекает особенно длительно или экстрактивные вещества получают в малых количествах, но очень многих наименований.

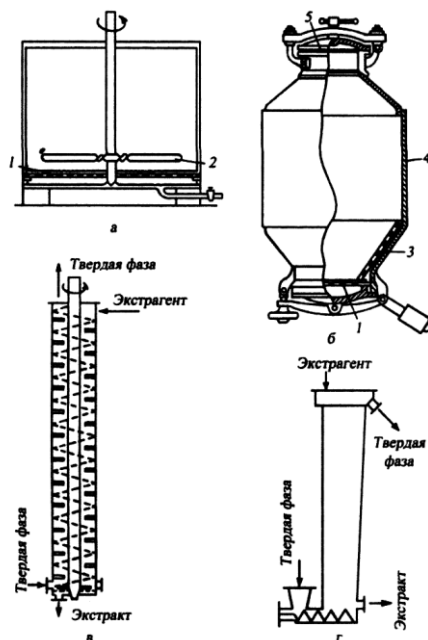


Рисунок 10.1 – Экстракционные аппараты:
а – экстрактор периодического действия с мешалкой; б – диффузор (перколятор); в – колонный аппарат со шнековым транспортером; г – колонный аппарат без транспортного устройства;
1, 3 – ложное дно; 2 – мешалка; 4 – корпус; 5 – крышка.

ЭКСТРАКТОРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Экстракторы непрерывного действия по сравнению с периодическими и полупериодическими кроме общеизвестных преимуществ любого непрерывного процесса перед периодическим (полное исключение затрат ручного труда, возможность автоматизации процесса, создание единичного аппарата большой производительности, равномерность потребления энергии и сырья и др.) имеют и такое важное преимущество, как улучшение массообменных характеристик процесса и, в частности, увеличение коэффициента массоотдачи от поверхности частиц к экстрагенту. Однако аппараты непрерывного действия имеют и ряд недостатков, главные из которых состоят в продольном перемешивании экстрагента и твердых частиц, значительном разрушении последних, неравномерности протекания процесса.

Создание совершенного непрерывно действующего экстрактора большой единичной мощности может быть осуществлено только путем устранения всех этих важнейших недостатков аппарата.

Наиболее широко распространенной группой аппаратов непрерывного действия являются колонные. Эти аппараты по конструктивным признакам делятся на одноколонные и многоколонные, по расположению основного корпуса (корпусов) -- на вертикальные,

горизонтальные и наклонные, а по виду транспортного органа -- на лопастные, шнековые и цепные.

Одноколонный аппарат может иметь лопасти 3, винтожным образом расположенные на вертикальном полом валу 2, и жонтрлопасти 4, закрепленные на корпусе аппарата 1 между лопастями и препятствующие вращению массы твердых частиц вместе с валом. Транспортный орган колонного аппарата в некоторых случаях представляет собой отдельные витки, в промежутке между которыми также находятся контрлапы. При значительном отличии от плотности твердых частиц от плотности экстрагента колонный аппарат может вообще не иметь основного транспортного органа. Сложной является система подачи твердых частиц в аппарат. Она обеспечивается специальным насосом (рис. 6.7, а и б), однако при этом требуется значительное обогащение жидкостью смеси твердых частиц с экстрагентом. Смесь подается в колонну над разделительным ситом 5. Отделяющийся этим ситом экстрагент частично идет на дальнейшую переработку (выпаривание, очистку), но большая его часть попадает в смеситель для образования смеси с твердыми частицами, направляющимися в аппарат. Необходимость отделения на сите 5 значительного количества жидкости создает тяжелый гидродинамический режим в этой зоне аппарата. Твердые частицы

могут подаваться: в колонный аппарат специальным шнеком. При обоих способах подачи частиц в аппарат происходит значительное их разрушение, которое может существенно ухудшить массообмен в аппарате. В одноколонном аппарате дробление твердых частиц; имеет место и при их дальнейшей транспортировке -- это ухудшает гидродинамические условия в процессе. В аппаратах этого типа трудно осуществить подвод тепла, который во многих случаях необходим в процессе экстрагирования.

Достоинства одноколонного аппарата, которые можно отнести почти ко всем аппаратам колонного типа, состоят в том, что процесс в них протекает противоточно и непрерывно, вся масса частиц постоянно находится в жидкой фазе. Такие аппараты занимают малые площади, обладают, как правило, малой металлоемкостью (все внутреннее пространство аппарата используется полезно).

Для определения условий массообмена в экстракторе снимаются экстракционные кривые, для чего экспериментально устанавливаются концентрации экстрагируемого вещества в твердых частицах: и в жидкости в пробах, отобранных в ряде точек по длине аппарата. По известным, таким образом, концентрациям на каждом интервале - аппарата между точками «отбора проб, размеру частиц, времени пребывания частиц на интервале, коэффициенту диффузии (который может быть измерен для каждого интервала в лабораторных условиях) коэффициент массоотдачи для этого интервала вычисляется с помощью алгоритма обратного интервально-итерационного расчета; так, например, в случае использования номограмм необходимо вычислить отношение избыточных концентраций на концах интервалов (Z), определить величину критерия Фурье для интервалов (по известным коэффициенту диффузии, размеру частицы и времени пребывания частицы на интервале) и, зная q -- соотношение расхода масс, по номограмме найти величину критерия Био.

Такое распределение величины массоотдачи можно объяснить следующим образом. В нижней части аппарата происходит некоторое уплотнение слоя твердых частиц, связанное с отделением экстрагента, удаляемого из колонны, и в связи с этим ухудшение гидродинамических условий обтекания частиц экстракционной жидкостью.

В средней зоне аппарата обычно устанавливается оптимальная гидродинамическая обстановка процесса. Смесь твердых частиц с экстрагентом хорошо перемешивается транспортирующим устройством и равномерно распределяется по сечению аппарата, чего не наблюдается в нижней его части. Величина массоотдачи на этом участке аппарата должна достичь своего максимума.

В верхней части аппарата, где частицы значительно раздроблены, наблюдается их слеживание, образуются отдельные сгустки частиц или «комки», внутрь которых поток жидкости не попадает. Аналогичное явление имеет место в случаях даже гораздо более интенсивного взаимодействия твердой и жидкой фаз.

Одновременно начинает сказываться тормозящее влияние устройства для выгрузки твердой фазы. Удельная нагрузка в этой зоне увеличивается, что ухудшает гидродинамические условия процесса экстракции.

Увеличение размера частиц в колонном аппарате, как и в других типах экстракторов, приводит к улучшению массообмена между частицами и экстрагентом.

Повышение соотношения расхода масс на большей части высоты аппарата ухудшает массообмен, так как под влиянием возрастающего потока жидкости частицы прижимаются с большей силой к транспортному органу, их слой уплотняется, что приводит к ухудшению гидродинамических условий в слое, уменьшению активной поверхности частиц.

Несколько разновидностей одноколонных экстракторов, предназначенных главным образом для переработки мелкораздробленных (порошковых) материалов, имеющих плотность, существенно отличную от плотности экстрагента, по конструкции приближаются к колонным аппаратам для экстракции в системе жидкость-жидкость. Основным контактным устройством таких экстракторов являются тарелки. Экстракторы данного типа, как и жидкостные, могут иметь перемешивающие, вибрационные и

пульсирующие устройства. Из многообразных конструкций многоколонных аппаратов в промышленности получили распространение двухколонный аппарат с шнековым транспортным органом, двухколонный аппарат с цепным транспортным органом, трехколонный аппарат со шнековыми транспортерами, многоколонный вертикальный аппарат с цепным транспортным органом.

В каждой из трех колонн вертикального шнекового экстрактора (рис. 6.9) -- загрузочной 1, горизонтальной 2 и экстракционной 3 -- находятся шнеки. Шнек 4 загрузочной колонны и шнек 5 экстракционной колонны подвешены с помощью вала на упорных подшипниках. В верхней части загрузочной колонны имеется цилиндрическое сито 6 для отделения экстракта, уходящего из аппарата, от твердых частиц.

Экстракторы этого типа получили распространение в химической, фармацевтической и пищевой промышленности.

Достоинствами вертикального шнекового экстрактора являются небольшие площадь и объем здания, занимаемого аппаратом, малая металлоемкость, хорошее использование всего объема аппарата, относительная простота конструкции и легкость обслуживания, а недостатками -- сильное дробление материала, запрессовка некоторых видов сырья (особенно, растительного), закручивание твердого материала вместе со шнеками.

Интенсивность массообмена по длине аппарата значительно изменяется (рис. 6.10) и имеет следующие особенности: в загрузочной (А) колонне экстрактора коэффициент массоотдачи убывает, в горизонтальной (В) -- несколько увеличивается, а в экстракционной (В) после незначительного убывания резко возрастает. Такой характер изменения коэффициента массоотдачи по высоте экстрактора объясняется следующим образом. В начале загрузочной колонны экстрагент имеет наибольшую концентрацию и соответственно большую вязкость. По направлению к горизонтальной колонне концентрация экстрагента уменьшается, что создает условия для увеличения коэффициента массоотдачи. Однако разрушаемость частиц, взаимная блокировка поверхности частицами ведет к ухудшению условий омывания их жидкостью.

Увеличение значений коэффициента массоотдачи в горизонтальной колонне также можно объяснить повышением относительной скорости движения экстракционной жидкости в этой части аппарата.

При переходе частиц из горизонтальной колонны в экстракционную величина коэффициента массоотдачи уменьшается, затем она увеличивается в экстракционной колонне.

В заключение отметим, что массообмен в аппаратах этого типа протекает недостаточно эффективно.

Двухколонный аппарат с цепным транспортным органом имеет в нижней части переходной округленный участок /, соединяющий вертикальные колонны 2. Все части корпуса в сечении представляют собой прямоугольник. Внутри корпуса по направляющим движутся две роликовые цепи S, к которым прикреплены на

определенном расстоянии (0,5--0,6 м) прямоугольные рамки, 4 с натянутыми на них цепями. Цепи приводятся в движение барабаном 5 от привода, имеющего электродвигатель.

Частицы твердого, материала располагаются между рамками, поэтому при движении они не деформируются. В этом большое достоинство аппарата. В вертикальной загрузочной колонне условия процесса особенно благоприятны, так как слой частиц на рамке расположен равномерно. Однако при прохождении через дуговую часть корпуса, материал смещается относительно рамки, что дает возможность экстрагенту проходить над слоем твердых частиц. Неравномерное распределение материала остается на рамках и в экстракционной колонне, поэтому жидкость проходит в той части, где слой материала меньше, а основная масса его омывается экстрагентом гораздо хуже.

В результате этого массообменные характеристики аппарата весьма похожи на показанные выше характеристики для трехколонного шнекового аппарата.

Многоколонные аппараты с цепным транспортным органом 2 (рис. 6.12) во многом аналогичны двухколонным с цепным транспортным органом. Твердые частицы небольшими слоями лежат на сетках 1, что создает благоприятные условия для осуществления противотока, при этом частицы не подвергаются разрушению. Легко осуществлять заданный температурный режим по аппарату, так как малое сечение аппарата позволяет хорошо его нагреть через стенки корпуса. Однако такие аппараты сложны в эксплуатации, занимают большой объем и площади помещений по сравнению с одноколонными. Кроме того, после перехода из одной колонны в другую равномерность расположения слоя части на сетке меняется, что несколько нарушает гидродинамический режим взаимодействия жидкой и твердой фаз.

Особенно высокие значения коэффициента массоотдачи в первой вертикальной колонне. Действительно, на этом участке создаются наиболее благоприятные гидродинамические условия процесса -- частицы равномерно заполняют межсетчатые пространства. Равномерное движение экстрагента в этой колонне способствует хорошему отводу тепла от греющей поверхности и быстрому нагреванию всей массы вещества в колонне.

В других вертикальных участках аппарата коэффициент массоотдачи хотя и выше, чем на смежных, но значительно ниже, чем в первой колонне. Связано это главным образом с тем, что во все последующие вертикальные участки частицы поступают после сжатия и смещения в переходных коленах. Следовательно, в этих вертикальных участках частицы расположены на сетках неравномерно и омываются экстрагентом значительно хуже, чем в первой колонне.

Ротационные аппараты бывают в основном двух видов: аппараты, корпус которых вращается вокруг горизонтальной оси -- барабанного типа и аппараты, корпус которых вращается вокруг вертикальной оси -- карусельного типа.

Ротационный аппарат с вертикальной осью вращения (оросительный):

Ротационные аппараты барабанного типа имеют цилиндрический корпус, вращающийся на катках. Внутренняя полость аппарата по всей его длине разделена по диаметру дырчатой перегородкой 2 (рис. 6.14, а). На внутренней поверхности корпуса расположены винтовые перегородки 2, не достигающие до центра аппарата. В центральной части аппарата находятся наклонные перегородки 3 (рис. 6.14, б), соединяющие между собой винтовые перегородки соседних витков. Аппарат заполнен смесью частиц и жидкостью только до уровня наклонных перегородок (примерно $1/4-1/3$ объема). При вращении барабана экстрагент, находящийся всегда в нижней части

аппарата между сплошными винтовыми витками, перемещается вдоль аппарата, а твердые частицы увлекаются дырчатой перегородкой 2, отделяются на ней от жидкости и после определенного угла поворота барабана по наклонным перегородкам 3 сползают в полость между соседними витками и, таким образом, перемещаются по аппарату в противоположном направлении.

Процесс экстрагирования в каждом промежутке между витками (камере) протекает прямоточно, а переход между камерами осуществляется по принципу противотока, т. е. имеет место комбинированный процесс. Транспортная система аппарата проста, и деформация твердых частиц не происходит.

Главным недостатком аппаратов этого типа является очень низкий коэффициент использования объема и трудность поддержания необходимого температурного режима по его длине.

В аппаратах ротационного типа коэффициент массоотдачи с увеличением размера частиц возрастает более значительно, чем в аппаратах других типов. Это связано с особенностями процесса в ротационных аппаратах, где масса частиц разделена на независимые слои, не сжимаемые общим потоком жидкости. Пористость такого слоя в большей степени зависит от размера частиц.

Увеличение соотношения расхода масс твердых частиц и экстрагента не приводит к сильному сжатию частиц, так как масса частиц разделена на независимые слои, поэтому обнаружена прямая пропорциональность между соотношением расхода масс и коэффициентом массоотдачи.

Ротационные экстракторы карусельного типа выполнены в виде цилиндра, высота которого примерно вдвое меньше диаметра. Вращающийся в корпусе ротор разделен радиальными перегородками на 12--18 секций. Днище либо является сетчатым и вращается вместе с ротором, тогда каждый сектор днища присоединяется к ротору на шарнирах и может в нужный момент откидываться для выгрузки твердых частиц, либо днище неподвижное сплошное и имеет окно для выгрузки. В последнем случае (рис. 6.15) обод и перегородки ротора плотно прижаты к днищу и при вращении ротора трутся о днище (так же, как и нижний слой частиц, загружающих каждую секцию). Под каждым сектором имеется сборник экстрагента и насос, откачивающий жидкость из данного сектора, над сектором --

орошающее устройство. Собранная под сектором жидкость направляется насосом на орошение соседнего сектора (в направлении, противоположном вращению ротора). Таким образом, достигается противоток между твердыми частицами и экстрагентом. Следовательно, карусельный экстрактор является одновременно и оросительным.

Главными достоинствами карусельных экстракторов являются: соблюдение противотока между фазами, весьма малая степень разрушения частиц в процессе экстрагирования, хорошее использование объема аппарата, относительная простота конструкции. Недостаток этих экстракторов -- неравномерность процесса, так как в условиях неподвижного слоя жидкость не одинаково проникает в поры по всему объему материала и в процессе участвует не вся действительная поверхность частиц. При орошении * жидкость движется в слое с малой скоростью. Это тоже отрицательно влияет на массообмен. Наконец, процесс в таких аппаратах не является строго непрерывным, поскольку пока идет выгрузка материала из одной секции и загрузка в другую (иногда стекания жидкости из третьей) ротор находится в неподвижном положении.

Протекающий в аппарате этого типа процесс в известной мере приближается к процессу в батарейных аппаратах, однако экстрактор намного компактнее батарейного.

Оросительные экстракторы относятся к типу аппаратов, в которых не вся масса твердых частиц находится в постоянном контакте с жидкостью. Однако это не должно рассматриваться как недостаток, так как жидкость, движущаяся по поверхности твердого тела в виде пленки, в большей мере интенсифицирует процесс на границе раздела фаз, чем сплошная среда.

Главным недостатком этого способа взаимодействия жидкости и твердых частиц является то, что на протяжении определенного участка длины аппарата жидкость имеет одинаковую концентрацию, что приводит к известному нарушению принципа противотока.

В случае большого количества таких участков и небольшой длины каждого из них процесс может рассматриваться как комбинированный (полное смешение на каждой ступени и противоток при переходе от ступени к ступени) либо с большим приближением как чисто противоточный.

По конструктивному принципу оросительные аппараты делятся на ленточные, ковшовые и шнековые. В свою очередь ковшовые аппараты разделяются на вертикальные и горизонтальные.

Ленточный экстрактор (рис. 6.16) имеет стальной корпус 1. Внутри корпуса расположен ленточный транспортер 4, пластины которого прикреплены к двум цепям, приводящимся в движение звездочками 3. Пластины имеют ребра жесткости, на которые укладываются перфорированные листы.

Материал, поступающий в аппарат через бункер 2, движется слоем высотой 0,6--1,2 м по верхней ветви транспортера. Над слоем материала расположены распылители 7, обеспечивающие равномерное распределение растворителя над слоем материала. Под лентой установлены воронки б, в которые попадает мисцелла после того, как она прошла через слой материала. Число воронок равно числу ступеней экстрагирования. Из каждой воронки жидкость попадает в соответствующий центробежный насос б, который подает экстрагент в определенный распылитель. При этом жидкость обычно направляется не на тот участок, под которым она собрана, а на смежный, расположенный в направлении, противоположном движению ленты, вследствие чего обеспечивается переход жидкости от ступени к ступени по принципу противотока. Частицы лежат небольшим слоем и мало деформируются. Процесс в аппарате протекает по сложной схеме: поперечный ток на каждом участке (в сущности, процесс, полного смешения) и противоток при переходе от участка к участку. Конструкция -- сложная, металлоемкая, не обеспечивающая хорошего использования объема аппарата. Ремонт и обслуживание аппарата трудоемки.

Вертикальный ковшовый экстрактор (рис. 6.17) имеет стальной корпус 7, в верхней части которого расположен дозатор твердого материала 2. Внутри корпуса расположена бесконечная цепь, одетая на звездочки 3. К цепи прикреплены ковши 4 с твердым материалом для экстрагирования. С торцевых сторон ковша имеются карманы, в которые подается чистый растворитель 5 или экстрагент 6.

Карманы соединены между собой трубками с отверстиями, через которые подаваемые форсунками жидкости поступают на орошение материала в расположенные ниже ковши. Днище ковша представляет собой рамку с густой проволочной сеткой, расположенную над оросительными трубками.

В верхней части транспортера имеется специальный опрокидывающий механизм, который переворачивает и стряхивает ковш над бункером для приемки шрота.

Материал загружается сверху, в верхний ковш спускающегося ряда и орошается с помощью форсунок и трубок в ковше растворителем, частично обогащенным экстрагирующим веществом, после прохождения через поднимающийся ряд ковшей. Проходя через частицы в ковше и дырчатое дно, экстрагент поступает в следующий ковш. Таким образом, в опускающемся ряду ковшей имеет место прямоточный процесс. Верхние ковши поднимающегося ряда орошаются таким же образом, как и опускающийся ряд, но чистым растворителем; следовательно, в этом ряду имеет место противоточный процесс. Жидкость, прошедшая через последний ковш этого ряда, собирается на дне аппарата и направляется в верхний ковш опускающегося ряда.

Горизонтальные ковшовые экстракторы работают по тому же принципу, что и ленточные: группа ковшей одновременно орошается жидкостью, которая собирается под ковшами и направляется на орошение соседней группы ковшей, расположенной в направлении, противоположном движению транспортера.

В отличие от ленточного экстрактора, в ковшовом горизонтальном экстракторе используются обе его ветви.

Хотя ковшовые экстракторы и более производительны, чем ленточные, они обладают теми же недостатками: нарушение противотока, большие габариты, плохое использование объема аппарата.

Оросительный экстрактор с шнековым транспортным органом (рис. 6.18) значительно менее металлоемок, чем рассмотренные выше

оросительные экстракторы. Двухшнековый наклонный аппарат (рис. 6.19) представляет собой корытообразный наклонно установленный корпус с рубашками на внешней поверхности для обогрева паром. Внутри корпуса*имеющего в поперечном сечении сообразную форму, расположены два вращающиеся навстречу друг другу шнека, опирающиеся на ряд равномерно расположенных по длине аппарата подшипников, они частично заходят один в другой, чем предотвращается вращение частиц вместе со шнеками. Перед нижней торцевой стенкой аппарата находится сито, которое вместе со стенкой образует камеру для отделения экстрагента. Сито очищается вращающимися скребками. Над головной частью аппарата находится приемный бункер, одна из стенок которого является продолжением нижней торцевой стенки аппарата. Шнеки приводятся во вращение двумя специальными приводами, установленными у нижней и верхней торцевых стенок аппарата. Для удаления частиц из аппарата в верхней его части имеется колесо с черпаками. Растворитель подается в аппарат специальными поворотными патрубками с соплами в верхней части аппарата над последними витками шнеков.

Двухшнековые аппараты по характеру перемешивания фаз, возможностям продольного перемешивания и типу интегральной

кривой выхода твердых частиц из аппарата наиболее близки к экстракторам колонного типа.

Главная из этих конструктивных особенностей состоит в том, что аппарат разделен на пять однотипных секций, на стыке которых установлены подшипники, служащие опорой для валов транспортирующих органов. Рама, поддерживающая подшипники, играют роль контр-лап, а транспортный орган (его витки) имеет в местах установки подшипников разрывы, так что концы витков играют роль, близкую к роли лап в колонных аппаратах.

Характер движения экстрагируемых частиц и экстрагента внутри каждой секции и на стыке секций, где возникает возможность более энергичного перемешивания фаз, имеет, таким образом, существенные отличия.

Максимумы интенсивности массообмена приходятся на участки, наиболее близко расположенные к местам разрыва витков транспортирующего органа.

В средней части каждой секции аппарата, где частицы менее интенсивно перемешиваются, величина коэффициентов массоотдачи имеет наименьшее значение.

В уменьшении общей интенсивности массообмена в хвостовой части экстрактора, наряду с факторами, связанными с изменением свойств экстрагируемых частиц, определенное значение имеет дополнительное разрушение частиц, вызванное интенсивным перемешиванием на стыке секций аппарата, которое ухудшает гидродинамические условия процесса. Двухшнековые наклонные аппараты имеют наименьшую из всех широко применяемых в промышленности типов экстракторов металлоемкость, занимают наименьший объем здания, имеют меньший расход энергии и меньшую стоимость всей установки по сравнению с другими аппаратами такой же производительности. Конструкция их достаточно проста и доступна для эксплуатации и ремонта. Недостатками аппаратов этого типа является рециркуляция частиц и экстрагента по длине аппарата, значительное дробление твердых частиц и трудности в создании необходимого температурного режима в аппарате (особенно, в аппаратах больших размеров).

Существует несколько видов экстракторов, которые невозможно причислить ни к одной из основных рассмотренных групп аппаратов. Это, например, отстойно-смесительные экстракторы для переработки тонкодисперсных частиц, приближающиеся к подобным аппаратам для системы жидкость--жидкость, разного типа секционные аппараты, в которых имеет место интенсивное перемешивание фаз, а затем их разделение для передачи в соседнюю секцию. В аппаратах такого типа широко используются различные методы интенсификации массообмена между фазами (перемешивание, пульсации, низкочастотные механические колебания, кипящий слой). Следует, однако, иметь в виду, что нарушение противотока в каждой секции такого аппарата при значительных величинах критерия Фурье может привести к ухудшению всех показателей процесса, несмотря на то, что в каждой секции массообмен будет весьма эффективен.

Достоинство этого аппарата заключается в возможности проводить экстрагирование из частиц малых размеров или значительно деформированных частиц при больших значениях коэффициента массоотдачи, т. е. значительно интенсифицировать процесс, легко поддерживать необходимый температурный режим в аппарате. Когда температура кипения выше, чем допустимая по технологическим соображениям, процесс необходимо проводить под вакуумом. В этом случае требуется специальное устройство для загрузки и выгрузки из аппарата частиц твердого материала (турникет или мешалка и насос для нагнетания и удаления смеси твердых частиц и экстрагента).

В таких аппаратах имеет место нарушение противотока -- в промежутке между витками происходит полное смешение.

Многочисленность конструкций экстракторов связана с большим разнообразием видов сырья, перерабатываемого в этих аппаратах. Если, например, твердые частицы легко разрушаются в процессе экстрагирования, то необходимо применять экстракторы оросительного типа; при частицах, мало упругих и склонных к слеживанию, предпочтительно применение многоколонных и двухшнековых аппаратов.

Определенное значение имеет и то, что ни одна из существующих конструкций экстракторов не отвечает всем требованиям, предъявленным к аппаратам этого типа: протекание строго противоточного процесса с малым внешним диффузионным сопротивлением при малых размерах частиц, минимальная металлоемкость, малые габаритные размеры аппарата, простота конструкции, доступность для эксплуатации и ремонта.

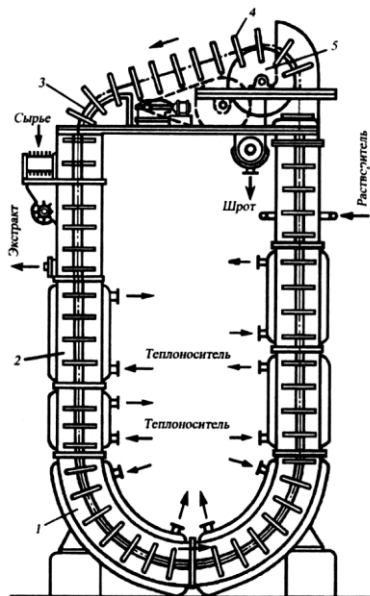


Рисунок 10.2 – Диффузионный аппарат непрерывного действия:

1 – круглый участок; 2 – вертикальная колонна; 3 – роликовая цепь; 4 – рамки; 5 – приводной барабан.

ОСНОВЫ ВЫБОРА И РАСЧЕТА ЖИДКОСТНЫХ ЭКСТРАКТОРОВ ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖИДКОСТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ

Жидкостная экстракция представляет собой процесс извлечения вещества, называемого целевым компонентом, из одной жидкой фазы в другую. Две взаимно нерастворимые жидкости и распределяемый между ними целевой компонент образуют экстракционную систему.

Существуют экстракционные системы двух типов:

1) органическая фаза - распределяемый "компонент- водная фаза;

2) органическая фаза-распределяемый компонент - органическая фаза.

Распределяемыми (извлекаемыми) компонентами могут быть органические, неорганические вещества и комплексные соединения.

Таким образом, в процессе экстракции участвуют две жидкие фазы - экстрагент и исходный раствор. Получаемые после экстракции фазы называются экстрактом и рафинатом.

При экстракции веществ достигаются следующие цели:

1) избирательное извлечение вещества из исходного раствора;

2) разделение веществ, содержащихся в исходном растворе и получение их в чистом виде;

3) концентрирование извлекаемых веществ.

Экстрагент - это органический растворитель, экстрагирующий вещество из исходного раствора. В большинстве случаев жидкостная экстракция осложняется химической реакцией. В таких процессах ионы вещества или незаряженные частицы в исходном растворе первоначально вступают во взаимодействие с компонентами экстрагента, а затем продукты реакции растворяются в экстрагенте. Органический реагент, который входит в состав экстрагента (либо применяется как самостоятельная

фаза) и образует с извлекаемым компонентом комплекс или соль, способные экстрагироваться, называется экстракционным реагентом. Для улучшения физических (плотность, вязкость) или экстракционных (например, избирательность) свойств экстрагента экстракционный реагент растворяют в инертном растворителе. Под инертностью растворителя подразумевается неспособность образовывать соединения с извлекаемым веществом.

Каждый экстрагент при экстрагировании определенного компонента (например, металла) имеет предельную емкость. При ее достижении экстрагент насыщается. Концентрация насыщения данного экстрагента (емкость) может быть определена после многократной обработки после многократной обработки в воронке нескольких свежих порций исходного раствора. Обработка проводится одной порцией экстрагента до тех пор, пока количество компонента в экстрагенте не станет постоянным. Значения предельной емкости для различных экстрагентов изменяются в широких пределах. На практике стараются избегать максимального насыщения экстрагента, так как с увеличением насыщения возрастает вязкость, что приводит к ухудшению показателей работы экстракционного оборудования.

Емкость экстрагента, измеряемая обычно в мг-экв извлекаемого вещества, приходящихся на единицу мольного объема или массы органической фазы, должна иметь возможно большую величину, так как в противном случае применение даже высокоселективного экстрагента может оказаться неэкономичным из-за необходимости иметь в системе большое количество экстрагента.

В экстракционных процессах жидкости после их смешения расслаиваются. В простых случаях расслоение определяется взаимной не растворимостью фаз и различием их физических СВОЙСТВ, однако иногда оно происходит в замкнутой области, поскольку вода имеет «полую» структуру, в пустотах которой могут располагаться молекулы экстрагентов, образуя при этом соединения внедрения.

Наличие области расслоения -- первое требование к экстрагенту. Практически не менее важна малая растворимость экстрагента в воде. Хорошее расслоение при малой растворимости обеспечивается наличием в молекуле экстрагента неполярной гидрофобной части -- радикала, который чаще всего представлен углеводородными группами. Аналогичный эффект достигается введением в молекулу экстрагента длинной алкильной боковой цепи.

Добавка трибутилфосфата и других нейтральных фосфор-органических соединений или высокомолекулярных спиртов к органической фазе снижает растворимость экстрагентов и в ряде случаев резко увеличивает коэффициенты распределения (так называемый синергетический эффект).

Необходимо учитывать, что в ряде случаев цена экстрагентов находится в пределах от 500 до 2500 руб. за 1 т, поэтому уже при потерях 100 мг/л (100 г/м^3) дорогие экстрагенты можно применять при концентрациях извлекаемого металла и несколько граммов на 1 л исходного раствора при тис металла, незначительно отличающейся от цены экстрагента. Следовательно, стоимость извлекаемого металла определяется минимальную концентрацию в водном растворе, при которой экстракция будет экономически выгодной.

Процессы экстракционного извлечения и разделения металлов идут, как правило, путем смешения органической и водной фаз с последующим их разделением. Чем больше разность плотностей органического и водного слоев и чем меньше вязкость экстрагента, тем легче (быстрее) идет их разделение. Поэтому обычно работают с разбавленными экстрагентами, используя в качестве разбавителей

неполярные малоактивные и устойчивые жидкости: бензол, толуол, керосин и т. д. Иногда, наоборот, утяжеляют органический слой, используя в качестве разбавителя четыреххлористый углерод, хлороформ и т. д.

Межфазное натяжение на границе раздела должно быть достаточно высоким для ускорения коалесценции (соединения) несмешивающихся жидкостей при их отстаивании. Однако слишком большое межфазное натяжение приводит к увеличению энергии, затрачиваемой на создание дисперсии смеси, а жидкости с малым межфазным натяжением образуют стабильные эмульсии.

Существенное влияние на величину межфазного натяжения оказывают (как правило, снижая его) примеси, которые адсорбируются на поверхности раздела фаз -- поверхностно-активные вещества (ПАВ), поэтому технические жидкости почти всегда обладают межфазным натяжением меньше стандартного.

Экстрагент должен быть стабильным, не изменяться под действием таких окислителей, как, например, азотная кислота, не полимеризоваться, не окисляться кислородом воздуха и не изменяться при многократном нагревании. Необходимо также принимать во внимание возможность гидролиза экстрагентов, который может привести к образованию коррозионно-активных соединений. Экстрагент должен иметь низкое давление насыщенных паров, что обеспечивает возможность проведения процесса в открытой аппаратуре. При этом уменьшаются его потери за счет испарения. В целях безопасности температура вспышки экстрагента должна быть достаточно высокой.

Реэкстракция представляет собой процесс обратного извлечения вещества из экстракта путем обработки специальным раствором, который называют реэкстрагентом, а получаемый продукт (чаще всего это раствор) -- реэкстрактом. В качестве реэкстрагента используют воду, водные растворы, нерастворимые в экстрагенте органические вещества.

Реэкстракцию можно осуществлять одним из следующих способов:

- 1) промывка органической фазы;
- 2) осаждение металла непосредственно из органической фазы;
- 3) селективное извлечение компонента, если в органической фазе содержится несколько металлов.

При реэкстракции достигаются следующие цели:

- 1) выделение вещества из экстракта;
- 2) разделение веществ (избирательная реэкстракция);
- 3) концентрирование извлекаемых веществ;
- 4) регенерация экстрагента для повторного использования (в некоторых случаях для регенерации экстрагента принимают перегонку, при этом отгоняется и конденсируется либо экстрагент, либо получаемый целевой компонент).

Выбор реэкстрагентов зависит от механизма экстракции. Из эфиров и нейтральных фосфорорганических соединений металлы легче реэкстрагируются водой, из кислых фосфорорганических соединений их можно реэкстрагировать кислотой или щелочью. Обычно применяются концентрированные кислоты, чтобы сдвинуть равновесие реакции в требуемом направлении. При использовании щелочей после реэкстракции образуются растворимые или нерастворимые гидроокиси. Реэкстракция аминов может происходить в результате замещения, гидролиза, комплексообразования и осаждения.

Регенерация экстрагента может быть осуществлена также ректификацией, выпариванием, кристаллизацией и т. д.

Химическая реакция между экстрагентом и компонентами водного раствора должна быть обратимой, так как иначе регенерация экстрагента будет затруднена или невозможна. Для кислотных и хелатообразующих экстрагентов процесс экстракции можно сделать обратимым путем обработки органической фазы минеральной кислотой. Добавление карбоновых и фосфорных кислот в стехиометрическом количестве по отношению к количеству металла в органической фазе обычно достаточно для полной реэкстракции металла и регенерации экстрагента. Для хелатообразующих экстрагентов с возрастанием прочности экстрагируемого комплекса увеличивается концентрация кислоты, необходимой для реэкстракции. Если используется очень сильная кислота или донорный атом сильноосновен, то может происходить протонирование атома-донора с соответствующей потерей кислоты. Это вызывает снижение эффективности реэкстракции, а иногда приводит к тому, что ион металла может вновь экстрагироваться из реэкстракта органической фазой в виде анионного комплекса. Вследствие этого иногда используют способ реэкстракции, независимый от pH: прямое восстановление металла в органической фазе водородом.

Для аминов и сольватирующих экстрагентов в качестве реэкстрагентов обычно применяют разбавленные растворы, содержащие лиганды. Несмотря на то, что реэкстракция анионами, не содержащимися в органической фазе, иногда проходит эффективно, их использование нежелательно, так как в этом случае возникает проблема дополнительной перезарядки экстрагента в форму, удобную для последующей экстракции.

Обычно жидкостная экстракция используется в тех случаях, когда прямые методы разделения смесей непригодны или когда, несмотря на недостатки экстракционных способов разделения, затраты на другие способы оказываются большими.

Контрольные вопросы: 1. Каковы достоинства и недостатки применения ленточного экстрактора? 2. В чем заключается расчет экстракторов? 3. Какие конструкции экстракторов применяются в пищевой промышленности?

Библиографический список

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

4. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. В 2-х кн. Кн. 2 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовичкий, А.А. Шевцов; ред. А.Н. Остриков. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 608 с. ISBN 978-5-98879-051-8
5. Виртуальный лабораторный практикум по курсу "Процессы и аппараты пищевых производств" : учеб. пособие для студ. вузов по спец. 240902 "Пищевая биотехнология"; рек. УМО / Г. В. Алексеев, И. И. Бриденко, Н. И. Лукин. - СПб. : Лань, 2011. - 143 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1135-1
6. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. - 760 с. ISBN 978-5-9532-0581-8
7. Баранцев В.И. Сборник задач по процессам и аппаратам пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1985. – 136 с.
8. Богачев, Б.В. Процессы и аппараты пищевых производств: Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов технологических специальностей. /Сост. Б.В. Богачев; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2002.
9. Липатов Н.Н. Процессы и аппараты пищевых производств: Учеб. для студ. вузов, обуч. По спец. – М.: Экономика, 1987. – 272 с.
10. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. - М.: Альянс, 2007. - 576 с.
11. Процессы и аппараты пищевых и химических производств: метод. указания для лабораторных работ / Н. Л. Моргунова, Б. В. Богачев, Л.Ю. Скрыбина. - Саратов: ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2010. - 46 с.
12. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии/К.Ф. Павлов, ред. П.Г. Романков, А.А. Носков. - 9-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1981. - 560 с.: ил.
13. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебник/Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 551 с.
14. Процессы и аппараты пищевых производств : учебник В.И. Горбатюк. - М. : Колос, 1999
15. Стабников В. Н., Лыснянский В. Н., Попов В. Д. Процессы и аппараты пищевых производств. -М: Агропромиздат, 1985.
16. <http://fcior.edu.ru/>
17. <http://macp.web.tstu.ru/>

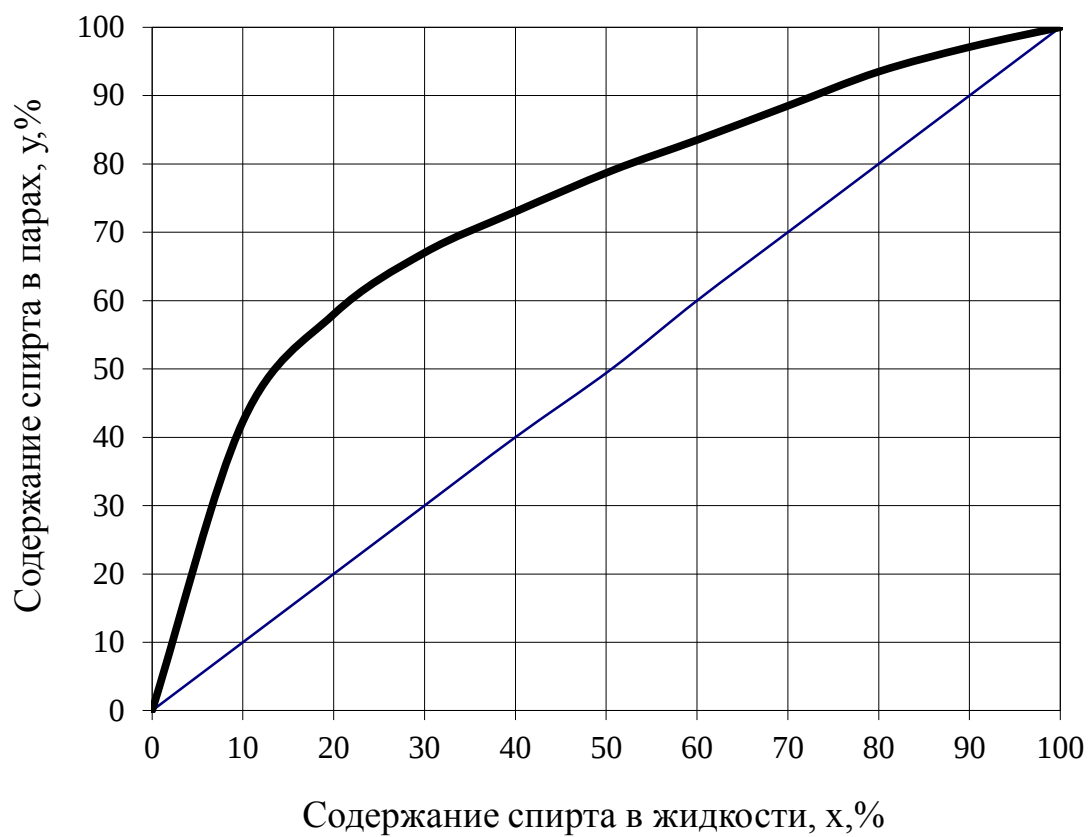


Рис.1 Метиловый спирт- вода ($\text{CH}_3\text{OH}-\text{H}_2\text{O}$)

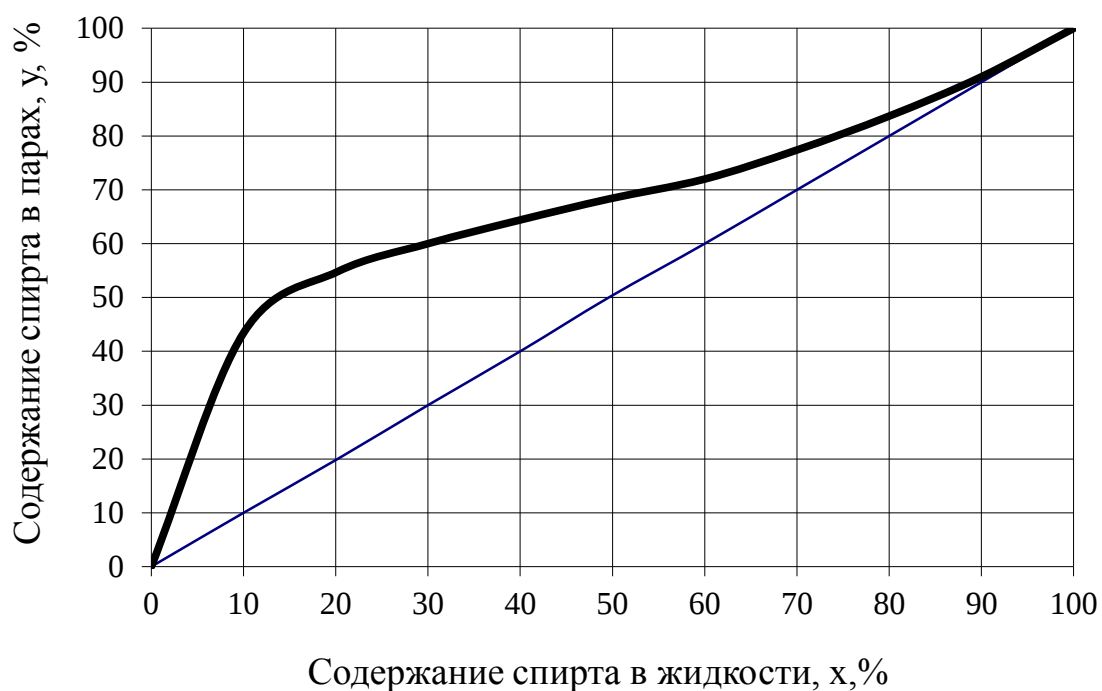


Рис.2 Этиловый спирт – вода ($C_2H_5OH-H_2O$)

Таблица №1

Теплофизические характеристики
водно-спиртовых растворов

Показатели	$t; ^\circ C$	концентрация, мас. %.										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$c; \frac{Дж}{кг \cdot K}$	20	4,183	4,262	4,304	4,212	3,961	3,789	3,550	3,266	2,998	2,730	2,40
	30	4,199	4,270	4,310	4,270	4,100	3,850	3,600	3,350	3,100	2,810	2,51
	40	4,183	4,283	4,312	4,245	4,091	3,873	3,663	3,429	3,140	2,906	2,60
	50	4,199	4,270	4,310	4,400	4,190	4,020	3,850	3,680	3,220	2,931	2,72
	60	4,187	4,283	4,342	4,275	4,132	3,948	3,776	3,584	3,341	3,140	2,95
	70	4,212	4,310	4,310	4,480	4,350	4,230	4,100	3,940	3,640	3,350	2,97
	80	4,216	4,310	4,310	4,520	4,400	4,310	4,230	4,100	3,850	3,350	3,10
$\rho; \frac{кг}{м^3}$	20	998	982	969	954	935	914	891	868	844	818	789
	30	996	979	964	948	928	906	883	859	836	809	781
	40	994	975	959	941	920	898	874	850	826	800	772
	50	988	971	953	935	912	889	865	841	817	791	763
	60	983	964	947	927	903	880	856	831	807	781	754
	70	978	957	939	919	894	871	846	822	797	772	744
	80	972	954	932	910	885	862	837	812	787	762	735

$\lambda;$ $\frac{Вт}{(м \cdot К)}$	20	0,61	0,55	0,50	0,45	0,41	0,35	0,30	0,27	0,24	0,23	0,19
	30	0,62	0,57	0,52	0,48	0,42	0,37	0,33	0,28	0,26	0,24	0,19
	40	0,64	0,58	0,54	0,49	0,44	0,38	0,34	0,30	0,27	0,26	0,18
	50	0,65	0,61	0,55	0,50	0,45	0,39	0,36	0,31	0,28	0,27	0,18
	60	0,66	0,62	0,56	0,51	0,46	0,41	0,37	0,33	0,28	0,28	0,18
	70	0,66	0,62	0,57	0,52	0,48	0,42	0,38	0,34	0,29	0,28	0,18
	80	0,68	0,63	0,58	0,54	0,49	0,43	0,38	0,35	0,31	0,29	0,18
$\mu;$ $\frac{мПа \cdot с}{с}$	20	0,998	1,548	2,168	2,670	2,867	2,832	2,642	2,369	1,998	1,601	1,22
	30	0,801	1,153	1,539	1,849	1,941	2,001	1,906	1,744	1,519	1,270	0,99
	40	0,653	0,896	1,144	1,353	1,455	1,475	1,426	1,328	1,181	1,022	0,82
	50	0,549	0,725	0,896	1,038	1,116	1,136	1,109	1,044	0,950	0,835	0,69
	60	0,470	0,602	0,728	0,826	0,887	0,904	0,887	0,841	0,778	0,695	0,59
	70	0,405	0,509	0,606	0,677	0,724	0,739	0,727	0,696	0,648	0,589	0,51
	80	0,354	0,444	0,534	0,606	0,653	0,668	0,656	0,625	0,586	0,537	0,46

Таблица №2

Равновесные составы жидкости и пара
для бинарных систем

Метиловый спирт -вода						Этиловый спирт -вода					
% (мол.) метилового спирта						% (мол.) этилового спирта					
t, °C	Жид- кость	пар	t, °C	Жид- кость	пар	t, °C	Жид- кость	пар	t, °C	Жид- кость	пар
100	0	0	75,0	40	72,9	100	0	0	80,2	47,72	64,21
96,4	2	13,4	73,1	50	77,9	91,3	4,16	29,92	79,5	61,02	70,29
93,5	4	23,0	71,2	60	82,5	87,0	8,92	42,09	78,5	77,88	80,42
91,2	6	30,4	69,3	70	87,0	84,6	14,36	49,30	78,1	89,41	89,41
87,7	10	41,8	67,5	80	91,5	83,0	20,70	53,46			
81,7	20	57,9	66,0	90	95,8	81,9	28,12	56,71			
78,0	30	66,5	64,5	100	100	81,0	36,98	60,29			

Таблица 3

Удельная теплота парообразования некоторых веществ (в кДж/кг)

Вещество	Температура, °C				
	0	20	60	100	140
Метиловый спирт	1198,3	1173,2	1110,4	1013,9	892,6
Этиловый спирт	921,8	913,4	879,9	812,9	712,3

Таблица 4

Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от температуры

Пересчёт в СИ: $1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$

Тем- пера- тура, °C	Давление (абсолютное) кгс/см ²	Удель- ный объём, м ³ /кг	Плот- ность ρ , кг/м ³	Удельная энтальпия жидкости i_k , кДж/кг	Удельная энтальпия пара i_n , кДж/кг	Удельная теплота парообра- зования r , кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7
0	0,0062	206,5	0,00484	0	2493,1	2493,1
5	0,0089	147,1	0,00680	20,95	2502,7	2481,7
10	0,0125	106,4	0,00940	41,90	2512,3	2470,4
15	0,0174	77,9	0,01283	62,85	2522,4	2459,5
20	0,0238	57,8	0,01729	83,80	2532,0	2448,2
25	0,0323	43,40	0,02304	104,75	2541,7	2436,9
30	0,0433	32,93	0,03036	125,70	2551,3	2425,6
35	0,0573	25,25	0,03960	146,65	2561,0	2414,3
40	0,0752	19,55	0,05114	167,60	2570,6	2403,0
45	0,0977	15,28	0,06543	188,55	2579,8	2391,3
50	0,1258	12,054	0,0830	209,50	2589,5	2380,0
55	0,1605	9,589	0,1043	230,45	2598,7	2368,2
60	0,2031	7,687	0,1301	251,40	2608,3	2356,9
65	0,2550	6,209	0,1611	272,35	2617,5	2345,2
70	0,3177	5,052	0,1979	293,30	2626,3	2333,0
76	0,393	4,139	0,2416	314,3	2636	2321
80	0,483	3,414	0,2929	335,2	2644	2310
83	0,590	2,832	0,3531	356,2	2653	2297
90	0,715	2,365	0,4229	377,1	2662	2285
95	0,862	1,985	0,5039	398,1	2671	2273
100	1,033	1,675	0,5970	419,0	2679	2260
105	1,232	1,421	0,7036	440,4	2687	2248
110	1,461	1,212	0,8254	461,3	2696	2234
115	1,724	1,038	0,9635	482,7	2704	2221
120	2,025	0,893	1,1199	504,1	2711	2207
125	2,367	0,7715	1,296	525,4	2718	2194
130	2,755	0,6693	1,494	546,8	2726	2179
135	3,192	0,5831	1,715	568,2	2733	2165
140	3,685	0,5096	1,962	589,5	2740	2150
145	4,238	0,4469	2,238	611,3	2747	2125
150	4,855	0,3933	2,543	632,7	2753	2120

160	6,303	0,3075	3,252	654,1	2765	2089
170	8,080	0,2431	4,113	719,8	2776	2056
180	10,23	0,1944	5,145	763,8	2785	2021
1	2	3	4	5	6	7
190	12,80	0,1568	6,378	808,3	2792	1984
200	15,85	0,1276	7,840	852,7	2798	1945
210	19,55	0,1045	9,567	897,9	2801	1904
220	23,66	0,0862	11,600	943,2	2803	1860
230	28,53	0,07155	13,98	989,3	2802	1813
240	34,13	0,05967	16,76	1035	2799	1763
250	40,55	0,04998	20,01	1082	2792	1710
260	47,85	0,04199	23,82	1130	2783	1653
270	56,11	0,03538	28,27	1178	2770	1593
280	65,42	0,02988	33,47	1226	2754	1528
290	75,88	0,02525	39,60	1275	2734	1459
300	87,6	0,02131	46,93	1327	2710	1384
310	100,7	0,01799	55,59	1380	2682	1302
320	115,2	0,01516	65,95	1437	2650	1213
330	131,3	0,01273	78,53	1498	2613	1117
340	149,0	0,01064	93,98	1564	2571	1009
350	168,6	0,00884	113,2	1638	2519	881,2
360	190,3	0,00716	139,6	1730	2444	713,6
370	214,5	0,00585	171,0	1890	2304	411,5
374	225	0,00310	322,6	2100	2100	0