

Государственное бюджетное  
профессиональное образовательное учреждение  
«Кунгурский колледж агротехнологий и управления»



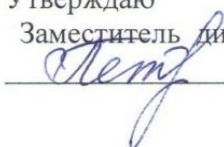
**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

по учебной дисциплине  
**ОП 01.01 Процессы и аппараты пищевых производств**  
по специальности **19.02.11 Технология продуктов питания из**  
**растительного сырья**  
базовой подготовки

2023 г.

Рассмотрена и одобрена на  
заседании методической  
комиссии агротехнологических  
дисциплин  
от «28» августа 2023 г.

Председатель МК  
 Л.В.Турышева

Утверждаю  
Заместитель директора  
 Л.И. Петрова

Методические материалы составлены в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) по специальности 19.02.11 Технология продуктов питания из растительного сырья и предназначено оказывать помощь в изучении обучающимся технологических процессов в пищевой промышленности.

Методические материалы содержат краткий теоретический материал, примеры, алгоритмы построения, вопросы для самоконтроля и рекомендуемую литературу. Методические материалы сопровождаются рисунками, таблицами.

Методические материалы являются важной составной частью ПООП-П по подготовке квалифицированных специалистов для пищевой промышленности.

Разработчик:

Гилева Олеся Николаевна, мастер производственного обучения

Организация-разработчик:

ГБПОУ «Кунгурский колледж агротехнологий и управления»

## СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка.....	4
Практическая работа.....	5
ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЫРЬЯ, ПОЛУПРОДУКТОВ И.....	5
ПРОДУКТОВ.....	5
Практическая работа.....	9
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ.....	9
Практическая работа.....	20
СОРТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ.....	20
Практическая работа.....	26
ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (ПРЕССОВАНИЕМ).....	26
РАЗДЕЛЕНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ.....	30
Практическая работа.....	31
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОТСТАИВАНИЯ И ОСАЖДЕНИЯ.....	31
Практическая работа.....	35
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ.....	35
Практическая работа.....	40
ОЧИСТКА ВОЗДУХА И ГАЗОВ.....	40
Практическая работа.....	43
ПСЕВДООЖИЖЕНИЕ.....	43
Практическая работа.....	47
УСТРОЙСТВО ТЕПЛООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ.....	47
Практическая работа.....	52
УСТРОЙСТВО МАСООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ.....	52
Практическая работа.....	58
ПЕРЕМЕШИВАНИЕ.....	58
ОБРАТНЫЙ ОСМОС И УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЯ.....	60
Практическая работа.....	62
УСТРОЙСТВА МЕМБРАННЫХ АППАРАТОВ.....	62
Практическая работа.....	65
КОНДЕНСАЦИЯ И КОНДЕНСАТОРЫ.....	65
Список литературы.....	70

## Пояснительная записка

При всем разнообразии технологических процессов в пищевой промышленности многие из них являются общими для различных производств. В любом пищевом производстве встречаются, например, перемешивание, фильтрование, нагревание, сушка и т.д.

Настоящие методические материалы разработаны для студентов специальности 19.02.11 Технология продуктов питания из растительного сырья.

Методические материалы представляет единое целое с теоретическим курсом дисциплины «Процессы и аппараты пищевых производств» и является важной составной частью учебной программы по подготовке квалифицированных специалистов для пищевой промышленности.

Выполнение студентом практических работ *проводится с целью:*

- обобщения, углубления, закрепления полученных теоретических знаний по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств»;
- формирования умений применять полученные знания на практике;
- выработки таких качеств, как самостоятельность, ответственность.

Задание выдается студенту преподавателем, который осуществляет руководство за его выполнением. Студент получает допуск к занятию (форма допуска выбирается преподавателем).

*Формы занятий:* фронтальная, групповая и индивидуальная.

*Требования к оформлению практических работ:*

Расчеты задач ведутся в тетради для практических работ;

Вычисления ведутся с точностью до первого десятичного знака с соблюдением правил округления цифр;

Размерность проставляется в системе СИ;

Все формулы должны нумероваться в пределах каждого раздела;

Применяемые формулы необходимо сопровождать расшифровкой условных обозначений.

## Практическая работа

# ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЫРЬЯ, ПОЛУПРОДУКТОВ И ПРОДУКТОВ

*Цель занятия:* Ознакомиться с физическими и теплофизическими свойствами сырья полупродуктов и продуктов. Практически научиться вести расчёт технических свойств сырья, полупродуктов и продуктов.

*План занятия.* 1 Ознакомление с физическими свойствами сырья полупродуктов и продуктов.

2 Ознакомление с теплофизическими свойствами сырья полупродуктов и продуктов.

3 Расчет технических свойств сырья, полупродуктов и продуктов.

*Рекомендуемая литература:* Баранцев В.И. Сборник задач по процессам и аппаратам пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 7- 13.

### Теоретические сведения

#### *Основные понятия и расчетные формулы*

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

Многие пищевые продукты представляют собой однородные и неоднородные смеси.

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

*Рассмотрим основные свойства веществ.*

**1 Плотность** – это масса  $M$  единицы объема  $V$  вещества.

Описывается формулой  $\rho = \frac{M}{V}$  и выражается в килограммах на  $1\text{ м}^3$ ,

тоннах на  $1\text{ м}^3$  или граммах на  $1\text{ см}^3$  ( $\text{кг/м}^3$ ,  $\text{т/м}^3$ ,  $\text{г/см}^3$ ).

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

Плотность раствора зависит от его концентрации  $C$ .

Отношение плотностей двух веществ называется *относительной плотностью*.

*Плотность жидкостей*, содержащих сухие вещества (сахарного сиропа, фруктовых соков, молока с сахаром и др.), при  $20^\circ\text{C}$   $\rho_{20}$ ,  $\text{кг/м}^3$ .

$$\rho_{20} = 10 \cdot [1,42B + (100 - B)], \quad (1)$$

где  $V$  – содержание сухих веществ, %.

Для бинарной суспензии, состоящей из воды и твердой фазы, плотность  $\rho_c$ , кг/м<sup>3</sup> определяется по формуле:

$$\rho_c = \frac{\chi}{\rho_m + \chi(\rho_m - \rho_s)} \quad (2)$$

где  $\chi_m$  – массовая доля твердой фазы в суспензии;  $\rho_m$  и  $\rho_s$  – плотности твердой фазы и воды, кг/м<sup>3</sup>.

При известной плотности водной суспензии  $\rho_c$  и плотности твердой фазы  $\rho_s$  массовая концентрация суспензии  $\chi_c$ , % определяется по формуле:

$$\chi_c = \frac{\rho_c (\rho_s - 1000) \cdot 100}{[\rho_c (\rho_s - 1000)]} \quad (3)$$

Плотность газа или пара  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> при температуре  $T$ , К и давлении  $P$ , Па на основании уравнения Клайперона определяется по формуле:

$$\rho = \frac{P}{(R \cdot T)} \quad (4)$$

где  $R$  – газовая постоянная, Дж/(кг·К),  $R=8314/M$ ;  $M$  – молекулярная масса газа (пара).

Для характеристики сыпучих продуктов (зерна, сахарного продукта, картофельной крупки и т.д.) вводится понятие *насыпной плотности*, которая описывается формулой:

$$\rho_n = (1 - \varepsilon) \cdot \rho_{ms} \quad (5)$$

где  $\rho_n$  – насыпная плотность сыпучего продукта, кг/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon$  – порозность

(пористость) сыпучего материала, определяемого по формуле

$$\varepsilon = \frac{V_n}{V_n}$$

объём пустот свободно насыпанного материала, м<sup>3</sup>;

$V_n$  – объём свободно

насыпанного материала, м<sup>3</sup>;  $\rho_{ms}$  – действительная плотность частиц материала, кг/м<sup>3</sup>.

**2 Вязкость  $\mu$**  – это свойство газов и жидкостей сопротивляться действию внешних сил, вызывающих их течение.

Для ньютоновских сред сопротивление действию внешних сил характеризуется *динамической вязкостью* (или коэффициентом динамической вязкости).

Динамическая вязкость  $\mu$ , Па·с определяется по формуле:

$$\mu = \frac{P \cdot \partial L}{F \cdot \partial v} \quad (6)$$

где  $P$  – сила, приложенная извне, Н;  $F$  – площадь действия силы,  $m^2$

$$\left(\frac{P}{F}\right)$$

давление сдвига, Па);  $L$  – расстояние между слоями, м;  $v$  – скорость сдвига, м/с.

*Кинематическая вязкость  $\nu$ ,  $m^2/c$  (или коэффициент кинематической вязкости) – это вязкость среды плотностью  $1 \text{ кг}/m^3$ , динамическая вязкость которой равна  $1 \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Определяется по формуле:*

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad (7)$$

*Вязкость суспензии независимо от размера твердых частиц при объемной доле твердой фазы  $\phi$  не более  $10\%$  определяется как:*

$$\mu_c = \mu_{ж} \cdot (1 + 2,5 \cdot \phi), \text{ а при } \phi > 10\% \quad - \text{ как } \mu_c = \mu_{ж} \cdot (1 + 4,5 \cdot \phi); \quad \phi = \frac{\chi_m \cdot \rho_c}{\rho_m}$$

**3 Поверхностное натяжение  $\sigma$**  – это работа образования единицы площади поверхности раздела фаз или тел при постоянной температуре.

Поверхностное натяжение жидкости определяют также как силу, действующую на единицу длины контура поверхности раздела и стремящуюся сократить эту поверхность до минимума. Благодаря поверхностному натяжению капля жидкости при отсутствии внешних воздействий принимает форму шара.

*Поверхностное натяжение зависит от температуры и уменьшается с повышением ее.*

*Поверхностное натяжение жидкости  $\sigma$ , Н/м определяется по формуле:*

$$\sigma = \left( \frac{R \cdot \rho_{ж}}{M} \right), \quad (8)$$

где  $R$  – парахор – постоянная, зависящая от поверхностного натяжения жидкости (ее значение находят суммированием составляющих для атомов, групп и связей);  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости,  $kg/m^3$ ;  $M$  – молекулярная масса.

**4 Удельный вес  $\gamma$**  – вес единицы объема вещества, зависящий от места измерения.

Между удельным весом и плотностью существует соотношение  $\gamma = \rho \cdot g$ , где  $g$  – ускорение свободного падения  $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ .

**1 Теплоемкость  $c$ , Дж/(кг·К)** – это отношение количества теплоты, подводимого к веществу, к соответствующему изменению его температуры.

*Теплоемкость единицы количества вещества называется удельной теплоемкостью.*

$$\text{Теплоемкость теста } c, \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}) \quad c_m = 1675 \cdot (1 + 0,015 \cdot W);$$

$$\text{Теплоемкость зерна } c, \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}) \quad c_s = 1550 + 26,4 \cdot W$$

**2 Теплопроводность** – это перенос энергии от более нагретых участков тела к менее нагретым в результате теплового движения и взаимодействия микрочастиц, приводящий к выравниванию температуры тела.

Интенсивность теплопроводности в твердых материалах, жидкостях и газах характеризуется коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ , который является теплофизическим параметром вещества.

Теплопроводность фруктов, соков, сиропов, молока с сахаром  $\lambda$ , Вт/(м·К) определяется по формуле:

$$\lambda_t = \lambda_{20} + 0,00068 \cdot (t - 20); \text{ при } 20^\circ\text{C} \quad (9)$$

$$\lambda_{20} = 0,593 - 0,025 \cdot \chi^{0,53},$$

где  $t$  – температура, К;

Теплопроводность чистых ассоциированных жидкостей (вода, спирты и др.)  $\lambda$ , Вт/(м·К) определяется по формуле:

$$\lambda = 3,58 \cdot 10^{-8} \cdot c \cdot \rho^{0,3} \sqrt{\frac{\rho_s}{M}} \quad (10)$$

где  $c$  – теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $M$  – молекулярная масса жидкости.

### Контрольные вопросы и задания

1. Какими основными теплофизическими свойствами характеризуются пищевые продукты и сырье?
2. Какими основными физическими свойствами характеризуются пищевые продукты и сырье?
3. Что такое плотность? В каких единицах измеряется плотность?
4. Что такое вязкость? В каких единицах измеряется вязкость?
5. Что такое поверхностное натяжение? В каких единицах измеряется поверхностное натяжение?
6. Что такое удельный вес? В каких единицах измеряется удельный вес?
7. Что такое теплоемкость? В каких единицах измеряется теплоемкость?
8. Что характеризует коэффициент теплопроводности, и в каких единицах он измеряется?
9. Определить плотность и динамическую вязкость неосветленного сахарного сока с массовой долей твердой фазы  $\chi_T = 0,04$ , если плотность твердой фазы  $\rho_m = 2100$  кг/м<sup>3</sup>, плотность осветленного сока  $\rho_o = 1080$  кг/м<sup>3</sup> и динамическая вязкость его  $\mu_o = 0,0005$  Па·с.



## Практическая работа

### ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы измельчающих машин. Научится вести расчет основных параметров, характеризующих работу измельчающих машин.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы вальцовых и молотковых дробилок.

2 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы резательных и терочных машин.

3 Расчет основных параметров, характеризующих работу измельчающих машин.

*Рекомендуемая литература:* Баранцев В.И. Сборник задач по процессам и аппаратам пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 14-17.

### Теоретические сведения

#### Основные понятия

Процесс уменьшения размеров исходного продукта до заданных размеров конечного продукта называют *измельчением*. Различают два вида измельчения:

– дробление, при котором измельченный материал не имеет определенной формы;

– резание, когда одновременно с уменьшением размера частицам придается определенная форма.

Процесс измельчения характеризуется степенью измельчения

*Степень измельчения* – это отношение средних размеров кусков

исходного материала ( $d_n$ ) до измельчения и после измельчения ( $d_k$ ):

$$i = \frac{d_n}{d_k}$$

Виды измельчения: дробление крупное ( $d_k = 100-350$  мм), среднее ( $d_k = 40-100$  мм), мелкое ( $d_k = 5-40$  мм); помола грубый ( $d_k = 0,1-5$  мм), средний ( $d_k = 0,05-0,1$  мм), тонкий ( $d_k = 0,001-0,05$  мм) и сверхтонкий ( $d_k < 0,001$  мм). Машины, предназначенные для дробления называются *дробилками*, для помола – *мельницами*.

#### 1 Вальцовые и молотковые дробилки

**Мельничный вальцовый станок.** Мельничный вальцовый станок предназначен для измельчения зерна в муку.

Рабочими органами являются *мелющие валки*. Валок должен быть:

- прочным;
- способным передавать большие крутящие усилия;
- иметь правильные геометрические формы и сохранять их в процессе работы.

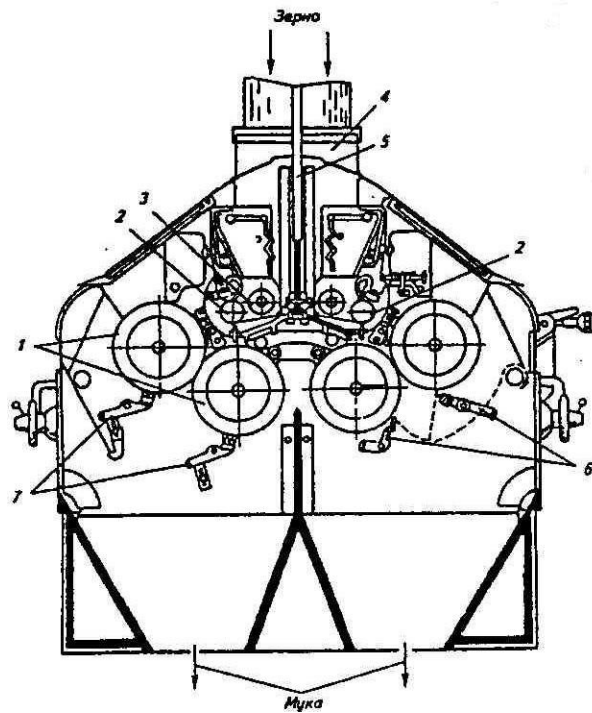


Рис. 1 Вальцовый станок:

1—рабочие валки; 2—питающие валки; 3—питающий шнек; 4—самотечная труба; 5— заслонка, регулирующая подачу зерна; 6 — ножи; 7 — щетки.

Рабочие элементы валков—рифли.

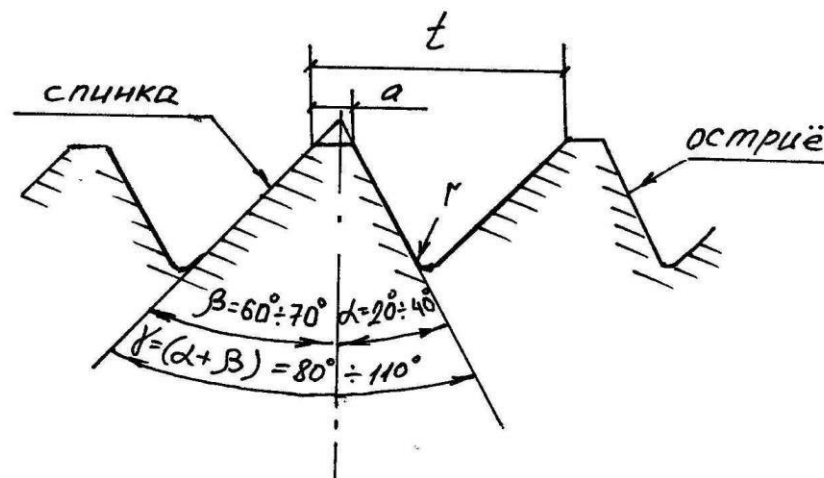


Рис. 2 Рифли:

$t$ —шаг нарезки;  $a$ —площадка для контроля диаметра валка;  $\alpha$ — угол острия;  $\beta$  — угол спинки;  $\gamma$  — угол заострения.

Для того чтобы процесс измельчения шел плавно, рифли нарезаются под углом к образующей.

Расположение рифлей на парно работающих валках назначается исходя из требований технологии, и бывает следующее: *острие по острию, спинка по спинке, спинка по острию и острие по спинке.*

Измельчение зерна происходит благодаря деформации и сжатию и сдвигу.

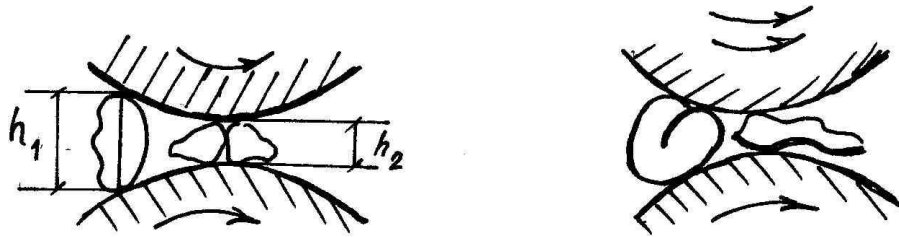


Рис.3 Схем деформации зерна:  
а – сжатие; б – сдвиг.

Механизм питания предназначен для равномерной подачи продукта в зону измельчения. Для его нормальной работы необходимо подавать продукт на медленно вращающийся валок со скоростью медленного валка.

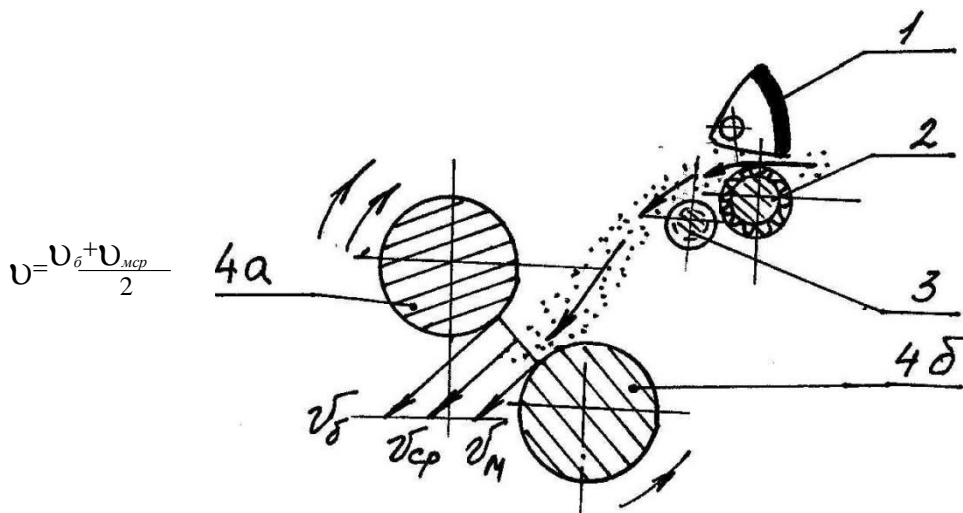


Рис.4 Схем механизма питания вальцового станка:  
1 – заслонка; дозирующий валок; 3 – распределительный валок; 4а – быстро вращающийся валок; 4б – медленно вращающийся валок.

$v_{\delta} = 5,5 \div 6,5 \text{ м/с}$  – при сортовых помолах;

$v_{\delta} = 8 \div 12 \text{ м/с}$  – при обойных помолах.

Основными параметрами характеризующими работу валцовых дробилок являются: угол захвата, частота вращения валков их производительность и потребляемая ими мощность.

Для захвата кусков материала валками должно соблюдаться условие:

$$\alpha < 2\varphi,$$

где  $\varphi$  – коэффициент трения материала о валок.

$\varphi = 0,37$  – для пшеницы, ржи, ячменя, гречихи;

$\varphi = 0,36$  – для вики;

$\varphi = 0,35$  – для чечевицы;

$\varphi = 0,33$  – для бобов;

$\varphi=0,3$ -для кукурузы;

$\varphi=0,28$ -для проса.

1 *Предельная частота вращения валков*  $n$ , об/мин определяется по формуле:

$$n = 616 \sqrt{\frac{\varphi}{\rho \cdot d_n \cdot D}}, \quad (1)$$

где  $\varphi$ -коэффициент трения;  $\rho$ -объемная масса измельчаемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $d_n$  -начальный диаметр измельчаемого материала, м;  $D$ - диаметр валка, м.

2 *Предельная окружная скорость вращения валков*  $w$ , об/мин определяется по формуле:

$$w = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (2)$$

Обычно  $w=2,5 \div 5$  м/с

3 *Производительность вальцовой дробилки*  $Q$ , кг/ч определяется по формуле:

где  $b$ -ширина зазора между валками, м;  $\psi$ -коэффициент, учитывающий неравномерность питания валков  $\psi=0,5 \div 0,7$ ;  $n$ -частота вращения валка, об/мин.

Если валки вращаются с различной частотой, то их производительность определяют по средней частоте вращения.

4 *Мощность, потребляемая вальцовой дробилкой*  $N$ , кВт определяется по формуле:

$$N = 0,117 \cdot D \cdot l \cdot n \cdot (120 \cdot d + D_n^2), \quad (4)$$

Размер поступающих на измельчение частиц должен быть в 20 – 25 раз меньше диаметра валков и в 10 – 12 раз меньше диаметра рифленых валков; для дробилок зубчатых валками (при измельчении плодов и овощей)

отношение  $\frac{D}{d_n} = 2 \div 5$

**Молотковая дробилка.** Молотковая дробилка за один прием обеспечивает относительно высокую степень измельчения таких материалов как зерно, картофель, сахар, соль и др.

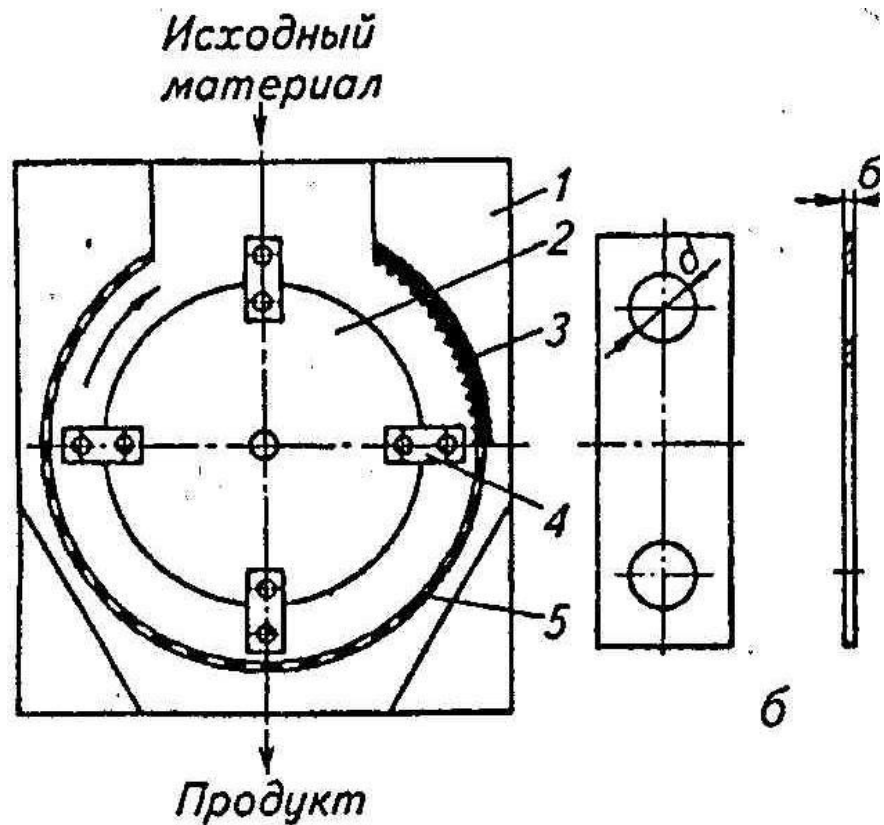


Рис. 5 Схема молотковой дробилки:

*а* – схема дробилки: 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – рифленая поверхность; 4 – пакет молотков; 5 – сито;  
*б* – схема молотка.

Рабочей частью молотковой дробилки являются молотки из хромоникелевой стали, свободно подвешенные на стержнях дисков ротора, смонтированного на валу. Молотковый ротор помещен в кожухе с внутренней рифленой поверхностью и сменным ситом (решеткой) в нижней части. При работе дробилки материал измельчается ударами вращающихся молотков, ударами материала о рифленую рабочую поверхность кожуха и истиранием его между молотками и о поверхность сита. Степень измельчения регулируется величиной отверстий набора сит.

1 Производительность молотковой дробилки  $Q$ , т/ч определяется по формуле:

$$Q = 35 \cdot D \cdot l \cdot \rho, \quad (5)$$

где  $D$  и  $l$  – диаметр и длина ротора, м;  $\rho$  – объемная масса измельчаемого материала, кг/м<sup>3</sup>.

6 Мощность, потребляемая молотковой дробилкой  $N$ , кВт определяется по формуле:

$$N = 0,15 \cdot D^2 \cdot l \cdot n, \quad (6)$$

где  $n$  – частота вращения молоткового ротора, об/мин.

### ***Контрольные вопросы и задания***

1. Где и для какой цели применяется процесс измельчения?
2. Какой основной рабочий орган вальцовой, молотковой дробилки?
3. Какие требования предъявляют к валку?
4. Благодаря каким видам деформации происходит измельчение зерна в мельничной вальцовой дробилке (станке)?
5. Определить *частоту вращения валков вальцовой дробилки*, если диаметр валков  $D = 0,25$  м, объемная масса измельчаемого проса  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup>, размер зерен  $d_n = 3,5$  мм.
6. Определить *мощность, потребляемую молотковой дробилкой*, если окружная скорость вращения ротора 24 м/с, его диаметр 450 мм и длина 400 мм.

## 2 Резательные и тёрочные машины

*Резательные и тёрочные машины* широко применяются в консервном и свеклосахарном производствах, когда из измельчённой сырью растительного или животного происхождения необходимо придать определённую форму и размеры

В зависимости от формы конструкции режущего инструмента резательные машины подразделяют на три группы:

- дисковыми вращающимися ножами;
- с фигурными ножами (серповидными, прямоугольными и др.);
- с комбинированными ножами, разрезающими продукт в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Рабочим органом в резательных машинах является *нож*. Когда рабочая кромка ножа имеет зубчатую форму, ножи называют *пилами*.

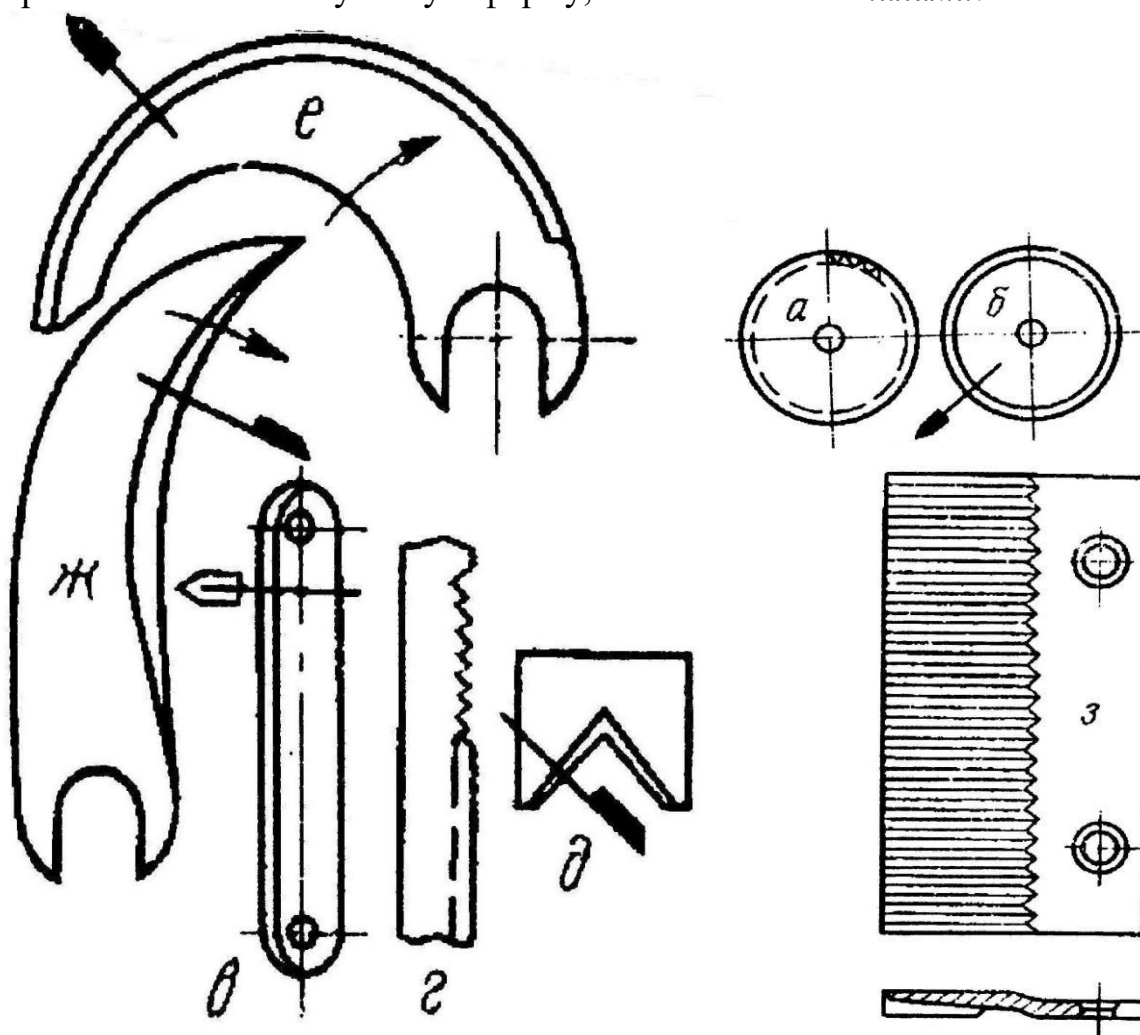


Рис. 6 Типы ножей, применяемых в резательных и тёрочных машинах:

а – дисковый зубчатый; б – дисковый плоский; в – ленточный плоский; г – ленточный зубчатый; д – плоский с треугольным вырезом; е – серповидный с внешней режущей кромкой; ж – серповидный с внутренней режущей кромкой; з – нож системы Чижека.

*Тёрочные машины* предназначены для измельчения картофеля на крахмалопаточных заводах и плодов при производстве соков.

**Картофелетерка.** Рабочим органом картофелетёрки является барабан 1 с зубчатыми пилами 2, вращающийся со скоростью 50 м/с. Картофелетерка оборудована двумя прижимными колодками 3 и 4, которыми регулируется степень измельчения. Рабочая поверхность верхней колодки набрана из стальных стержней, а нижней колодки – из пилок. Поступившей в тёрочную машину картофель прижимается к корпусу вращающимся барабаном, пилки которого трут картофель. Окончательное истирание его производится между барабаном и колодками. Для достижения высокой степени измельчения картофелетёрки в нижней части снабжены ситом (решёткой) 5.

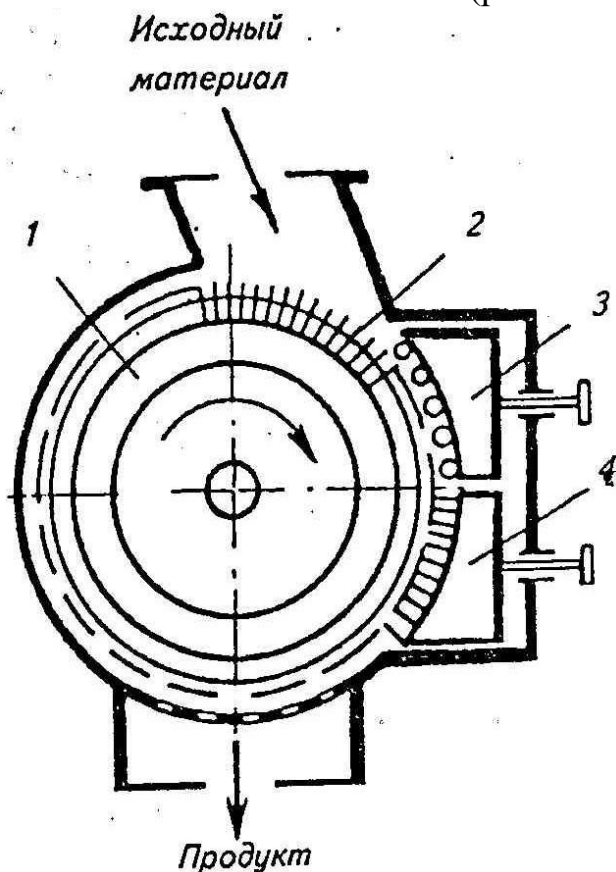


Рис.7Схемакартофелетерки

1 Производительность картофелетёрочной машины  $Q$ , кг/с определяется по формуле:

$$Q=8,5 \cdot 10^{-3} \cdot K \cdot D \cdot b \cdot n \cdot h^2 \cdot \rho, \quad (1)$$

где:  $K$  – количество пилок, размещённых на барабане, шт.;  $D$  – диаметр барабана, м;  $b$  – ширина барабана, м;  $n$  – частота вращения барабана, об/мин;  $h$  – высота выступающей части зубьев, м;  $\rho$  – объёмная масса измельчённого картофеля, кг/м<sup>3</sup>;

**Центробежная резательная машина,** применяется для измельчения свеклы в желобчатую или пластичную стружку для извлечения из неё сахарозы.



Принцип действия заключается в следующем. Свекла загружается в свеклорезку рис. 9, (10) через загрузочный бункер, увлекается вращающейся улиткой 3 и под действием центробежной силы прижимается к режущей кромке ножей 1, которыми свекла изрезывается в стружку. Свекловичная стружка через проемы ножевых рам выпадает в пространство между корпусом 2 свеклорезки и кожухом 4 и затем через люк поступает на дальнейшую переработку. Для замены ножей ножевая рама поднимается и заменяется глухой рамой без ножей. Для очистки ножей применяется продувка паром или сжатым воздухом.

$n=100\div 120$  об/мин—частота вращения улитки с лопастями.

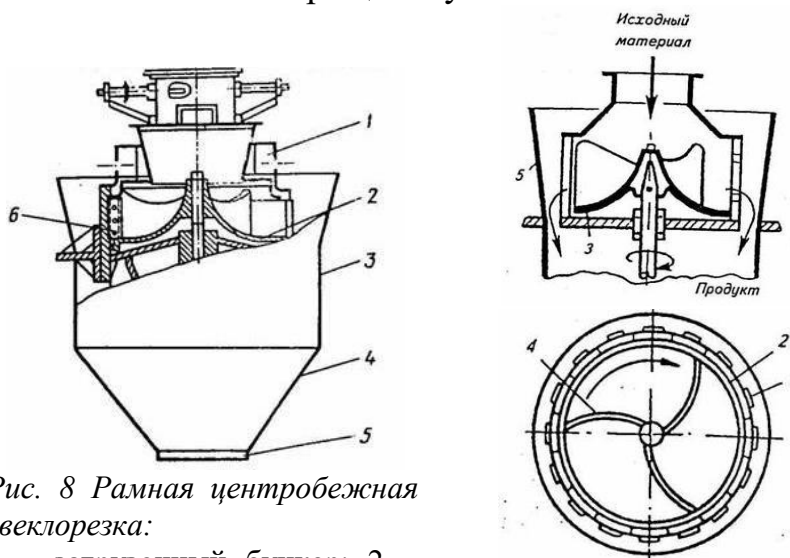


Рис. 8 Рамная центробежная свеклорезка:

1 – загрузочный бункер; 2 – ножевая рама; 3 – кожух; 4 – днище; 5 – люк; 6 – трехлопастная улитка.

Рис. 9 Центробежная резка для измельчения свеклы:

1 – нож; 2 – корпус; 3 – улитка; 4 – лопасть; 5 – кожух.

1 Производительность свеклорезки  $Q$ , кг/с определяется по формуле:

$$Q = L \cdot \delta \cdot z \cdot w_p \cdot \rho \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (2)$$

где  $L$  – длина режущей поверхности ножа, 0,165 м;  $\delta$  – средняя толщина стружки, 1–2 мм;  $z$  – число ножей, шт.;  $w_p$  – скорость резания, м/с;

$w_p = 6,7 \div 9,65$  для центробежных резок;  $w_p = 8,0$  для дисковых;  $\rho$  – плотность свеклы  $\rho = 1050$  кг/м<sup>3</sup>;

$K_2$  – конструктивный коэффициент,  $K_2 = 0,9$  для центробежных резок;  $K_2 = 0,85$  для дисковых;

$K_1$  – коэффициент объемного уплотнения, учитывающий неравномерность разделения свеклы в рабочем объеме при  $\omega = 5 \div 20$  рад/с.

2 Коэффициент объемного уплотнения  $K_1$  определяется по формуле:

$$K_1 = 1,38 \cdot 10 \cdot Q^{+0,56}, \quad (3)$$

3 Мощность привода для свеклорезки  $N$ , кВт определяется по формуле:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5}{\eta_{пр}} \quad (4)$$

где  $\eta_{пр}$  КПД привода;

4 Мощность для преодоления сил трения  $N_1$ , кВт определяется по формуле:

$$N_1 = 6,28 \cdot 10^{-3} \cdot p \cdot h \cdot \omega \cdot r_e^2 \cdot f \cdot k_n \quad (5)$$

где  $h$  - высота слоя свеклы, равная длине режущей кромки ножа, м;  $\omega$  - угловая скорость вращения ротора, рад/с;  $r_e$  - внутренний радиус корпуса резки, м;  $f$  - коэффициент трения свеклы о материал корпуса резки;  $k_n$  - удельное усилие прижатия свеклы к корпусу, Па;

Скорость резания	5	7	9	11	12
Удельное усилие $P_n$ , кПа	10	21	38	59	74

5 Мощность для преодоления сил сопротивления резанию свеклы  $N_2$ , кВт определяется по формуле:

$$N_2 = 10 \cdot p_c \cdot L \cdot r_p \cdot \omega \cdot k_3 \quad (6)$$

где  $p_c$  - удельная сила сопротивления резанию, Н/м;  $r_p$  - радиус резания, равный расстоянию от центра вращения ротора до вершины ножа, м;  $k_3$  - опытный коэффициент, учитывающий перекрытие части режущих кромок ножей, 0,8 – 0,9;

$$p_c = 66 \cdot \omega_p^{0,2} \cdot (1 + 1,81 \cdot \omega_p^{0,36}) \quad (7)$$

где  $\omega_p$  скорость резания, м/с.

6 Мощность для ускорения массы свеклы в роторе до скорости резания  $N_3$ , кВт определяется по формуле:

$$N_3 = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot r_e^2 \quad (6)$$

7 Мощность для преодоления сил трения между корнями свеклы при поступлении из бункера в ротор  $N_4$ , кВт.  $N_4 = 8 - 5$  кВт при  $Q = 1000 - 4000$  т/сут.

8 Мощность для преодоления сил сопротивления воздуха при вращении ротора  $N_5$ , кВт.

$$r_p = 0,6 \text{ м} - N_5 = 0,3 \text{ кВт};$$

$$r_p = 0,8 \text{ м} - N_5 = 1,0 \text{ кВт}.$$

### Контрольные вопросы задания

1. Каково назначение резательных и терочных машин?

2. На какие группы подразделяют резательные машины в зависимости от формы и конструкции режущего инструмента?
3. Какой основной рабочий орган резательных машин? Когда ножи называют пилами?
4. Какой основной рабочий орган картофелетерки? Какая возникает сила, в результате которой происходит истирание картофеля?
5. Определить *производительность центробежной резки и мощность электродвигателя* к ней, если длина режущей кромки ножа  $L = 0,165$  м, средняя толщина стружки  $\delta = 1$  мм, число ножей  $z = 24$  шт., скорость резания  $w_p = 8$  м/с, плотность свеклы  $\rho = 1050$  кг/м<sup>3</sup>, угловая скорость вращения ротора  $\omega = 12$  рад/с, удельное усилие прижатия свеклы к корпусу  $P_{\pi} = 30$  кПа, высота слоя свеклы в роторе  $h = 0,165$  м, внутренний радиус барабана  $r_b = 0,6$  м, коэффициент трения свеклы о ротор  $f = 0,25$ , радиус резания  $r_p = 0,55$  м,  $\eta_{np} = 0,85$ ,  $K_2 = 0,9$ ,  $K_3 = 0,85$ ,  $N_4 = 7$  кВт,  $N_5 = 0,3$  кВт.

## Практическая работа СОРТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы сортирующих машин. Научится вести расчет основных параметров, характеризующих работу сортирующих машин.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы сортировочных ситовых машин.

2 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы быстроходного и цилиндрического триера.

3 Расчет основных параметров, характеризующих работу сортирующих машин.

*Рекомендуемая литература:* Баранцев В.И. Сборник задач по процессам и аппаратам пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 19 – 21.

### Теоретические сведения

#### Основные понятия и расчетные формулы

**Плоский качающийся грохот.** Изображенный на рис.1 плоский качающийся грохот (трясун) на пружинящих опорах состоит из прямоугольного желоба 1 с ситом 2, установленного под углом  $7 - 14^\circ$  к горизонту. Желобу сообщаются качания от эксцентрикового механизма 3, вал которого совершает около 400 об/мин. Благодаря наклону и качаниям желоба сыпучий материал перемещается по ситуму и сортируется.

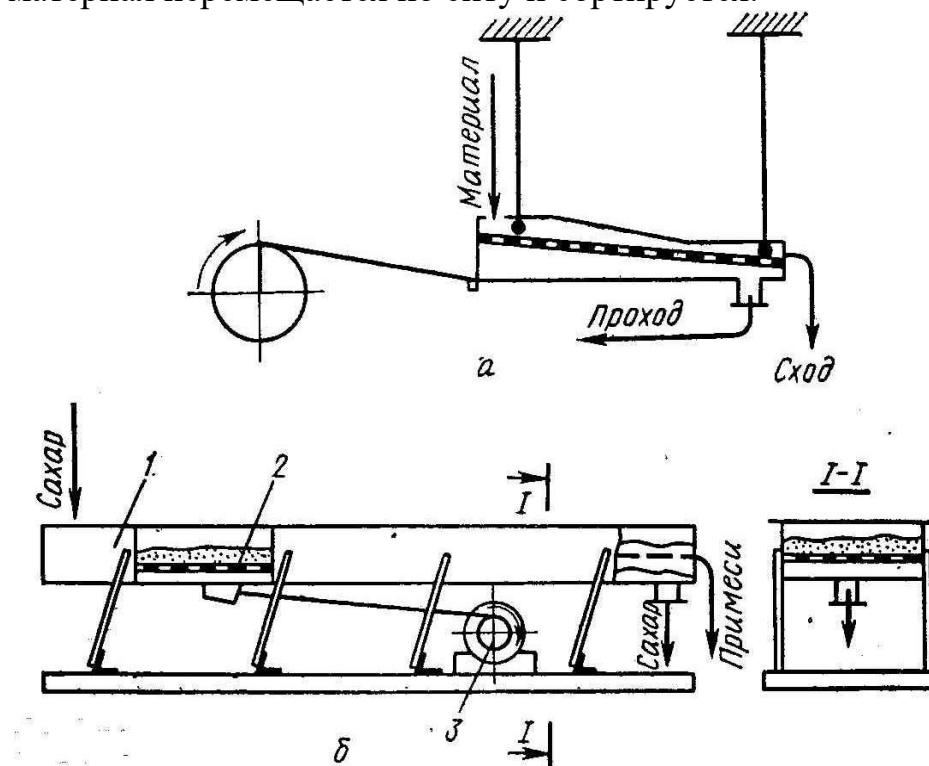


Рис. 1 Схемасортировочныхситовыхмашин:  
а–качающегося сита; б – трясуну.

**Плоский качающийся грохот.** 1 Частота вращения вала  $n$ , об/мин определяется по формуле:

$$n = \frac{30}{\sqrt{r \cdot g \cdot \alpha}}, \quad (1)$$

где  $r$  – эксцентриситет, м ( $r = 0,01 - 0,02$  м);  $\alpha$  – угол наклона пружин грохота к вертикали;  $\alpha = 18^\circ$ .

2 Скорость перемещения материала по ситам  $v$ , м/с определяется по формуле:

$$v = 0,23 \cdot n \cdot r \cdot f \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

где  $f$  – коэффициент трения материала о сито ( $f = 0,35$ ).

3 Производительность грохота  $Q$ , кг/с определяется по формуле:

$$Q = S \cdot v \cdot \rho \cdot \varphi, \quad (3)$$

где  $S$  – площадь сечения слоя материала на грохоте, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – объёмная масса сортирующего материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi$  – коэффициент заполнения сита ( $\varphi = 0,6$ ).

**Бурат.** Принцип действия бурата с коническим барабаном, применяемого для просеивания муки, показан на рис. 2.

Производительность бурата увеличивается с повышением частоты вращения. Однако вследствие центробежной силы, возникающей при вращении, частицы, прижимаясь к стенкам барабана, могут вращаться вместе с ним. Частоту вращения барабана, при которой частица массой  $m$  будет вращаться вместе с ним, определяют из условий равновесия частицы, находящейся под воздействием силы трения  $P = m g \mu$  и центробежной силы  $G = m \omega^2 R$  (где  $\omega$  – угловая скорость вращения барабана, рад/мин;  $R$  – радиус барабана, м).

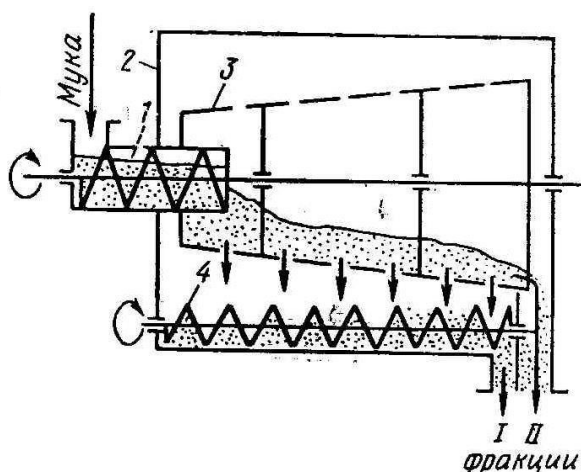


Рис. 2 Схема бурата:

1 – шнек-питатель; 2 – кожух; 3 – конический барабан; 4 – шнек.

Бураты просты в работе и обслуживании, однако они имеют небольшую производительность, так как в работе участвует лишь часть их ситовой поверхности.

**Бурат.** 1 Частота вращения барабана  $n$ , об/мин радиусом  $R$ , м определяется по формуле:

$$n = \frac{14}{\sqrt{R}} \quad (4)$$

2 Производительность бурата  $Q$ , кг/с определяется по формуле:

$$Q = 0,2 \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot n \cdot \operatorname{tg}(2\alpha) \cdot R^3 h^3, \quad (5)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент разрыхления материала ( $\varepsilon = 0,6 - 0,8$ );  $\rho$  – объёмная масса материала, кг/м<sup>3</sup>,  $\alpha$  – угол наклона барабана к горизонту, град;  $h$  – высота слоя материала, м.

3 Мощность потребляемого буратом  $N$ , кВт определяется по формуле:

$$N = \frac{R \cdot n (m_b + 13 \cdot m_m)}{29200}, \quad (6)$$

где  $m_b$  и  $m_m$  – соответственно масса барабана и загруженного в него материала, кг.

**Триеры** широко применяются для выделения из зерна примесей, имеющих одинаковое с ним поперечное сечение, но отличающихся по длине. В *быстроходном цилиндрическом триере* (рис. 3, а) куколь и половинки зерна выделяются из смеси во вращающемся ( $n = 45$  об/мин) барабане 1, смонтированном на валу 5, являющемся одновременно и валом шнека 4. Внутренняя поверхность барабана выполнена в виде ячейки 2 полушаровой формы. Желоб 3 для примесей свободно подвешен на валу и при помощи специального устройства может быть установлен под необходимым углом.

Поступающие в барабан зёрна с примесями при вращении укладываются в ячейки, причём куколь и половинки укладываются глубже, чем целые зёрна. Поэтому при повороте барабана на некоторый угол зёрна выпадают из ячеек раньше и попадают снова в цилиндр, а куколь и половинки поднимаются выше и выпадают в желоб, из которого затем отводятся шнеком за пределы триера. Благодаря вращательному движению отсортированное зерно перемещается по барабану к противоположному концу и отводится через боковые отверстия.

В *дисковом триере* (рис. 3, б) ячейки выполнены на поверхности дисков. При вращении дисков в ячейки попадают куколь и половинки, которые затем выпадают в желоб 5 и отводятся из машины.

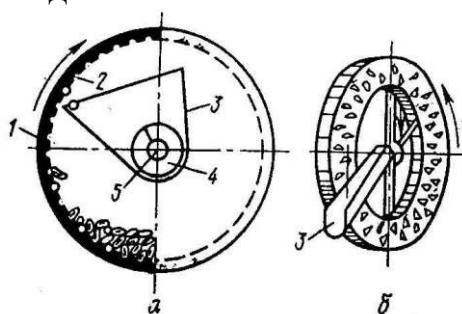


Рис. 3 Триеры:

а – быстроходный цилиндрический; б – дисковый.

**Цилиндрический триер.** 1 Частота вращения быстроходного триера  $n$ , об/мин радиусом  $R$ , м определяется по формуле:

$$n = \frac{24}{\sqrt{R}} \quad (7)$$

2 Производительность быстроходного триера  $Q$ , кг/с определяется по формуле:

где  $D$  – диаметр цилиндра, м;  $l$  – длина цилиндра, м;  $n$  – частота вращения цилиндра, об/мин;  $\chi$  – число ячеек на  $1 \text{ м}^2$  поверхности цилиндра;  $g$  – масса зерна, выбираемая одной ячейкой, кг;  $K$  – коэффициент использования ячейистой поверхности;  $a$  – содержание зерна мелкой фракции в исходном зерне, %.

3 Число ячеек  $\chi$  на  $1 \text{ м}^2$  поверхности цилиндра определяется по формуле:

$$\chi = \frac{A}{d^y} \quad (9)$$

где  $A$  – опытный коэффициент;  $d$  – диаметр ячеек, мм;  $y$  – показатель степени. Для штампованных ячеек  $d = 2,5 \div 12 \text{ мм}$ ,  $A = 4,3 \cdot 10^5$  и  $y = 1,8$ .

4 Мощность электродвигателя для триера  $N$ , кВт определяется по формуле:

$$N = \frac{0,72 \cdot Q}{\eta_n} \quad (10)$$

где  $\eta_n = 0,8 \div 0,9$

**Вибрационные грохоты.** Вибрационные грохоты по сравнению с другими сортировочными устройствами обеспечивают более высокую производительность и четкость разделения при меньшем расходе энергии благодаря тому, что при вибрировании слой продукта на сите интенсивно разрыхляется, уменьшается трение между частицами; они становятся более подвижными, что обуславливает относительное перераспределение их по крупности и ускоряет выделение прохоровых частиц.

В *вибрационном грохоте* рис. 4 короб 1 с ситом 2 установлен на пружинах 3. при вращении вала 4 с двумя шкивами 5, несущими неуравновешенные грузы 6, возникает центробежные силы инерции, под действием которых коробу сообщается 900 – 1500 вибраций в 1 мин при амплитуде колебаний от 0,5 до 12 мм.

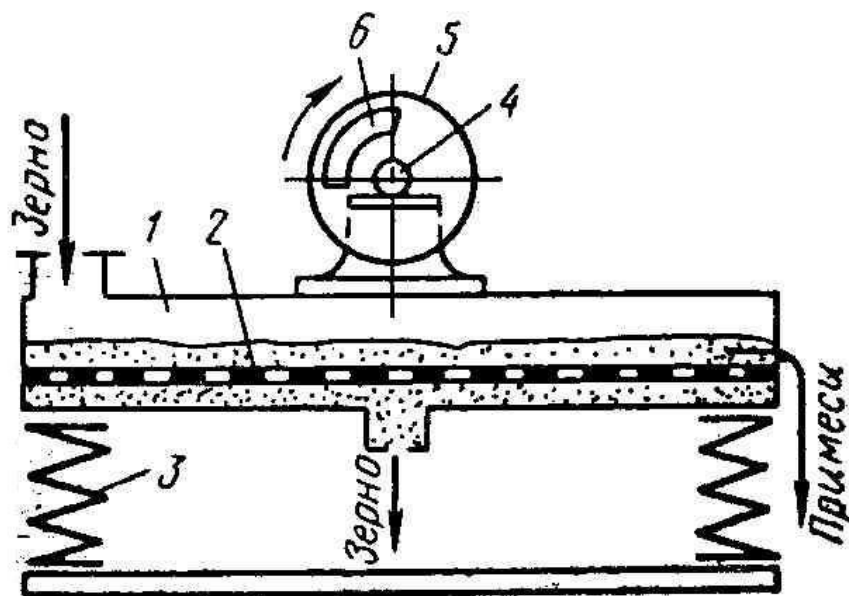


Рис.4 Вибрационный грохот

1 Производительность вибрационного грохота  $Q$ , кг/с определяется по формуле:

$$Q = 0,28 \cdot 10^{-3} \cdot A \cdot F \cdot (55+a) \cdot (60+b) \cdot \rho \cdot d \cdot \sqrt{\quad} \quad (11)$$

где  $A$  – амплитуда колебаний, м ( $A=0,005 - 0,01$  м);  $F$  – площадь сита,  $m^2$ ;  $a$  – содержание выделяемой фракции в исходном материале, %;  $b$  – содержание выделенной фракции зерен размером меньше половины отверстия сита, %;  $d$  – размер отверстий на сите, мм;  $\rho$  – объемная масса материала,  $kg/m^3$ .

### Контрольные вопросы и задания

1. Где и для какой цели применяется процесс сортирования?
2. Какой основной рабочий орган бурата? Под действием какой силы происходит разделение сыпучей смеси в бурате?
3. Какой основной рабочий орган быстроходного цилиндрического и дискового триеров? Под действием какой силы происходит разделение сыпучей смеси в триерах?
4. Определить производительность быстроходного триера и потребляемую им мощность для выделения куколя, если диаметр барабана  $D = 600$  мм, длина его  $l = 1780$  мм, частота вращения  $n = 38$  об/мин, масса зерна, выбираемой одной ячейкой  $g = 40 \cdot 10^{-5}$  кг, коэффициент использования ячеистой поверхностью  $K = 0,6$ , содержание куколя в ячмене  $a = 10\%$ ,  $A = 4,3 \cdot 10^{-5}$ ,  $y = 1,8$ , диаметр ячейки  $d = 8,5$  мм,  $\eta_{np} = 0,84$
5. Определить мощность, потребляемую буратом, если диаметр барабана  $D = 1,0$  м, масса барабана 1200 кг и масса зерна в нем 160 кг.





## Практическая работа

### ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (ПРЕССОВАНИЕМ)

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы прессов, закаточных машин. Научится вести расчет основных параметров, характеризующих работу прессов.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы пневматического пресса.

2 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы вальцового пресса.

3 Расчет основных параметров, характеризующих работу прессов.

*Рекомендуемая литература:* Баранцев В.И. Сборник задач по процессам и аппаратам пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 21 – 23.

### Теоретические сведения

*Машины для отжатия жидкости (прессы).* По принципу действия различают прессы периодического и непрерывного действия, по способу создания рабочего давления – прессы механические и пневматические. Широко применяются в промышленности шнековые и вальцевые прессы непрерывного действия, а также пневматические и корзиночные прессы периодического действия.

*В пневматическом прессе* (рис. 1) давление на прессуемый материал создается с помощью сжатого воздуха, увеличивающего объем цилиндра 2 из листовой резины. Благодаря этому при получении, например, виноградного сока прессуемый материал не перетирается, не нарушается механическая структура кожицы, гребней и семян и сок получается высокого качества. Загрузка и разгрузка барабана 1 производится через люки, установленные по его длине. При работе прессов производят несколько рыхлений материала путём вращения барабана, предварительно выпустив воздух из цилиндра. Выделенный сок вытекает через отверстия в барабане в поддон 3, а из него – в сборник.

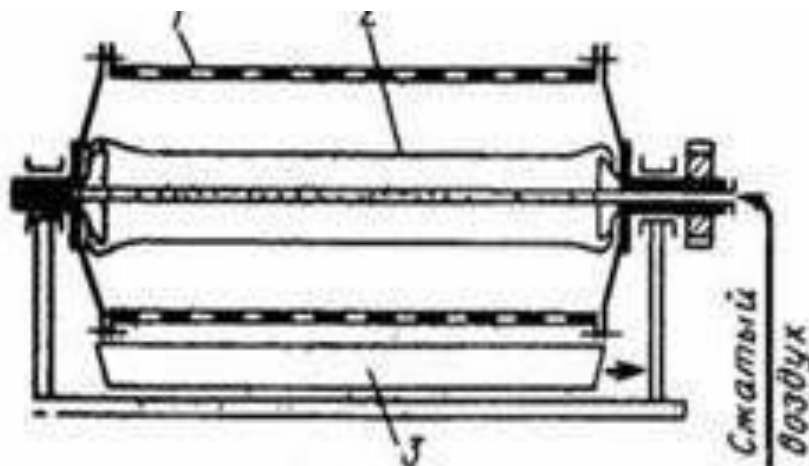


Рис. 1 Пневматический пресс

**Вальцовый пресс** (рис. 2) применяется для отжата жидкости из картофельной мезги при производстве крахмала, состоит из двух полых перфорированных валков, вращающихся навстречу один другому. Отжатая из мезги жидкость проходит через отверстия внутри валков и затем отводится из них, а мезга продавливается вниз.

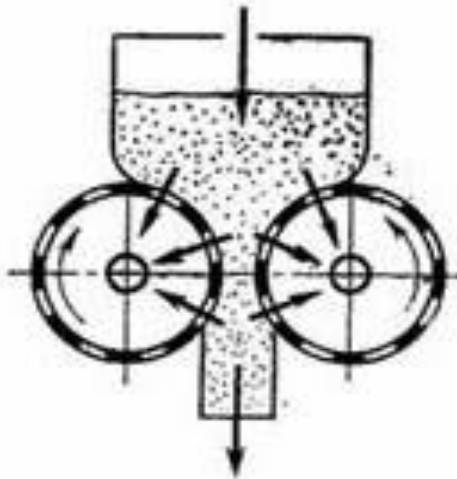


Рис.2Схема действия вальцового пресса

**Нагнетающие прессы** широко применяются для формирования макарон, вермишели, лапши, дрожжей и др. Такие прессы состоят из нагнетающего устройства и формующей матрицы (мундштука) с отверстиями нужного сечения и размеров.

**Закаточные прессы и машины** (рис. 3) применяются для придания тесту округлой формы. Это достигается прокатыванием куска теста между двумя поверхностями, движущимися одна относительно другой.

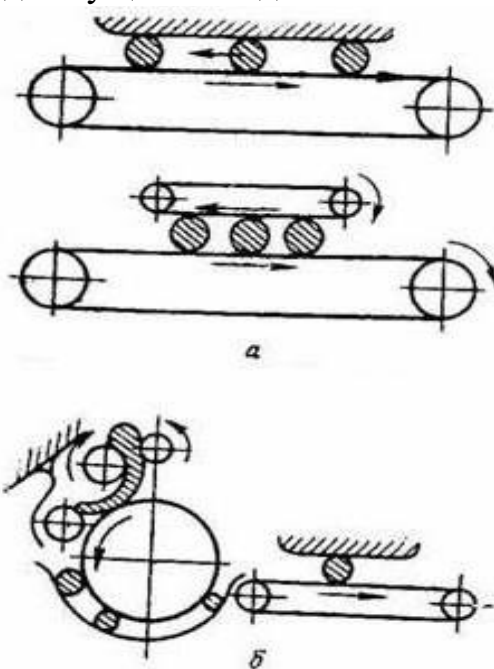


Рис.3Закаточные машины для теста: а – ленточная; б – барабанная.

**Штампующие прессы** широко применяют при производстве печенья и карамели. Из прокатанного в ленту материала, движущегося по конвейеру, штампующим механизмом вырубается изделия необходимой формы и требуемого рисунка.

**Шнековые прессы.** Производительность шнекового пресса для винограда или масличных семян  $Q$ , кг/с согласно рисунку V-1 приблизительно можно рассчитать по формуле:

$$Q=0,013 \cdot (D^2-d^2) \cdot t \cdot n \cdot \rho \cdot (1-k) \cdot \eta, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр шнека, м;  $d$  – диаметр вала шнека, м ( $d = 0,35D$ );  $t$  – шаг витка шнека, м ( $t = 0,58D$ );  $\rho$  – средняя объемная масса прессуемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – частота вращения шнека, об/мин;  $K_e$  – коэффициент, учитывающий обратное движение прессуемого материала вдоль винтового канала и через радиальный зазор между шнеком и перфорированным цилиндром (зером): для выходной щели пресса шириной 6,5 -12 мм при прессовании **хлопковых и подсолнечных семян  $K_e=0,75 - 0,5$** ; для **виноградной мезги величину  $K_e$**  в зависимости от частоты вращения об/мин шнека определяется по формуле:

$$K_e=0,918-0,046 \cdot n, \quad (2)$$

$\eta$  – КПД пресса ( $\eta = 0,5 - 0,8$  и зависит от величины зазора между шнеком и перфорированным цилиндром).

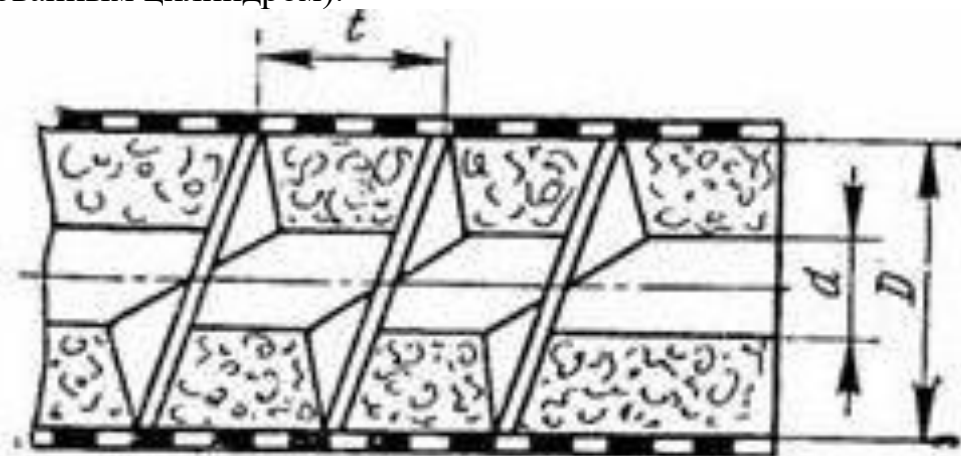


Рис. V—1. Схема камеры давления шнекового пресса

Для нагнетающих шнековых формовочных прессов диаметр прессовой матрицы  $D$ , м определяется из формулы:

$$Q=0,785 \cdot D^2 \cdot f \cdot w \cdot \rho, \quad (3)$$

где  $Q$  – производительность пресса, кг/с;  $D$  – диаметр матрицы, м;  $f$  – доля живого сечения отверстий от общей площади матрицы ( $f = 0,04 - 0,08$ );  $w$  – скорость выхода массы, м/с;  $\rho$  – плотность формуемого материала, кг/м<sup>3</sup>.

**Ротационный пресс.** Такой пресс, работающий по схеме (рис V-2), применяется для брикетирования сухого жома и др.

Производительность ротационного пресса  $Q$ , кг/с определяется по формуле:

$$Q = 7,5 \cdot d^2 \cdot l \cdot \rho \cdot m \cdot z \cdot \omega, \quad (4)$$

где  $d$  и  $l$  – диаметр и длина гранулы, м;  $\rho$  – объемная масса гранул, кг/м<sup>3</sup>;  $m$  – число отверстий в матрице, шт.;  $z$  – число прессующих валков, шт.;  $\omega$  – угловая скорость матрицы, рад/с.

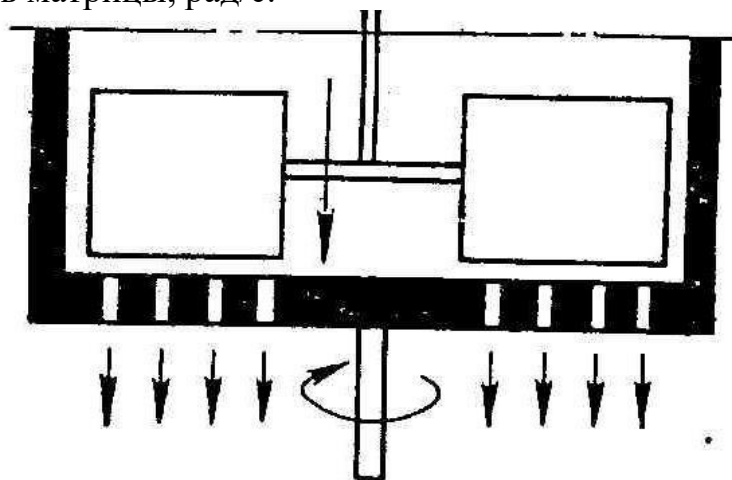


Рис. V–2. Схема ротационного пресса

### Контрольные вопросы задания

1. Для чего применяется прессование в пищевой промышленности?
2. Какое оборудование применяется для обработки продуктов прессованием?
3. Каково назначение, устройство и принцип работы пневматического пресса?
4. Определить *производительность шнекового пресса* для винограда, если диаметр шнека  $D = 300$  мм,  $n = 10$  об/мин,  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup>, КПД пресса  $\eta = 0,7$ .
5. Определить *число отверстий в матрице ротационного пресса* для гранулирования сухого жома, если производительность пресса  $Q = 0,6$  кг/с, диаметр гранул  $d = 6$  мм, длина гранул  $l = 7$  мм, объемная масса гранул  $\rho = 400$  кг/м<sup>3</sup>, число прессующих валков  $z = 3$ , угловая скорость матрицы  $\omega = 12$  рад/с.

## РАЗДЕЛЕНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ

*Неоднородные (гетерогенные)* системы состоят из двух или нескольких фаз. Фазы, составляющие систему, могут быть механически отделены одна от другой. Любая неоднородная бинарная система состоит из дисперсной (внутренней) фазы и дисперсионной среды (внешней фазы), в которой распределены частицы дисперсной фазы.

В зависимости от физического состояния фаз различают: суспензии, эмульсии, пены, пыли, дымы и туманы.

*Суспензии* - это неоднородные системы, состоящие из жидкости и взвешенных в ней твердых частиц. В зависимости от размеров последних суспензии условно подразделяют на грубые ( $> 100$  мкм), тонкие (0,5 – 100 мкм) и мути (0,1 - 0,5 мкм).

*Эмульсии* - это системы, состоящие из жидкости и распределенных в ней капель другой жидкости, не смешивающейся с первой.

*Пены* - это системы, состоящие из жидкости и распределенных в ней пузырьков газа. Эти газожидкостные системы по своим свойствам близки к эмульсиям.

*Пыли и дымы* - это системы, состоящие из газа и распределенных в ней частиц твердого вещества. Размеры твердых частиц пыли от 3 до 70 мкм, а у дымов (0,3-0,5 мкм).

При образовании дисперсной фазы из частиц жидкости размером (0,3-0,5 мкм) возникают системы, называемые туманами. Пыли, дымы и туманы представляют собой аэродисперсные системы, или аэрозоли.

В пищевой технологии широко распространены процессы, связанные с разделением жидких и газовых неоднородных систем. Выбор метода их разделения обуславливается главным образом размерами взвешенных частиц, разностью плотностей дисперсной и сплошной фаз, а также вязкостью внешней фазы.

Применяют следующие основные методы разделения: осаждение, фильтрование, центрифугирование.

Осаждение представляет собой процесс разделения, при котором взвешенные в жидкости или газе твердые или жидкие частицы отделяются от нее под действием сил тяжести, инерции (в том числе центробежных) или электростатических. Осаждение, происходящее под действием силы тяжести, называется отстаиванием. В основном оно применяется для предварительного, грубого разделения неоднородных систем.

*Фильтрование* - это процесс разделения с помощью пористой перегородки, способной пропускать жидкость или газ, но задерживать взвешенные в них твердые частицы. Оно осуществляется под действием сил давления или центробежных сил и применяется для более тонкого разделения суспензий и пылей.

*Центрифугирование* - это процесс разделения суспензий и эмульсий в поле центробежных сил. Под действием последних осаждение

сопровождается уплотнением образующегося осадка, а фильтрование - уплотнением и механической сушкой осадка.

Несмотря на общность принципов разделения жидких и газовых неоднородных систем некоторые методы их разделения, а также применяемое оборудование в ряде случаев имеют специфические особенности.

## **Практическая работа** **ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОТСТАИВАНИЯ И ОСАЖДЕНИЯ**

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы оборудования для отстаивания и осаждения.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы отстойников для суспензий и эмульсий.

2 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы отстойной центрифуги.

3 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы гидроциклона.

*Рекомендуемая литература:* Кавецкий Г.Д., Королев А.В. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 51 - 60  
Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы.

### **Теоретические сведения**

**Оборудование для отстаивания и осаждения** по принципу действия делится на гравитационные отстойники, отстойные центрифуги, гидроциклоны и сепараторы.

*Отстойники* бывают периодического, непрерывного и полунепрерывного действия.

**Устройство отстойников.** В зависимости от назначения различают отстойники для суспензий и отстойники для эмульсий. Простейший **одноярусный непрерывно действующий отстойник суспензий** с механизированным удалением осадка (рис. 1) представляет собой цилиндрический резервуар с коническим днищем II кольцевым желобом 2 для отвода осветленной жидкости. Он оборудован валом с лопастью 3 и скребками 4, перемещающими осадок по днищу от периферии к выходному патрубку. Одноярусные отстойники громоздки, более компактны многоярусные отстойники, представляющие собой несколько (4—5) одноярусных отстойников, расположенных один над другим и работающих, как правило, параллельно.

Суспензия

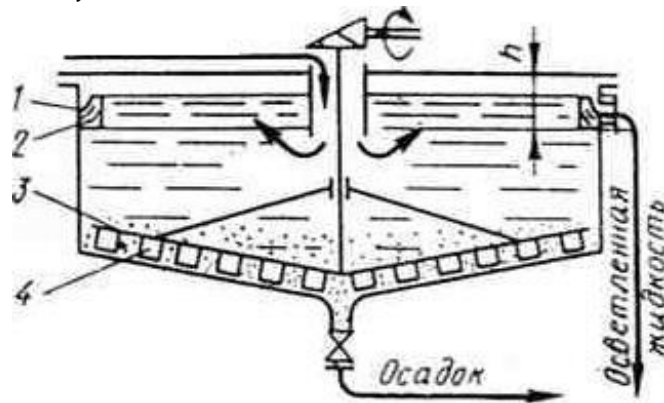


Рис.1 Одноярусный отстойник непрерывного действия

**Отстойник для непрерывного разделения эмульсий** (рис. 2) состоит из нескольких частей. Эмульсия подается в левую часть отстойника, откуда поступает в среднюю сепарационную камеру. Перегородки 2 позволяют регулировать высоту уровня смеси. В сепарационной части происходит разделение исходной смеси на составляющие под действием сил тяжести. Легкая жидкость поднимается и вытекает из отстойника через верхний штуцер. Тяжелая жидкость опускается, проходит под правой перегородкой 3 и вытекает через нижний штуцер. Каналы для выхода жидкости образуют сообщающиеся между собой сосуды.

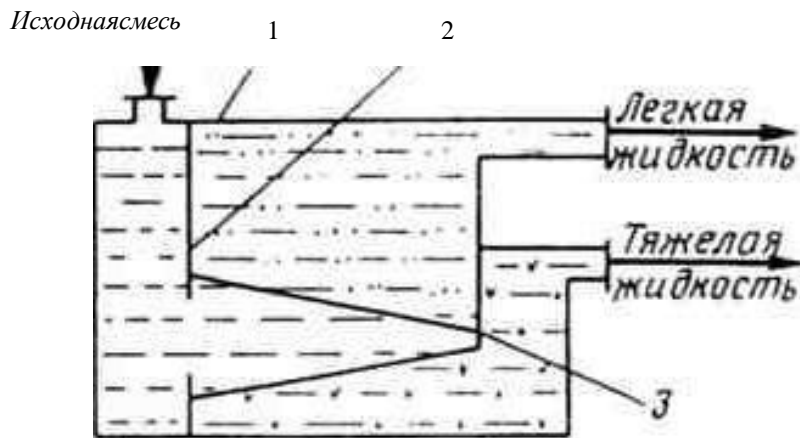


Рис.2 Отстойник для разделения эмульсий:  
1-корпус; 2 – левая перегородка; 3 – правая перегородка.

**Центрифуги** могут быть с вертикальным и горизонтальным расположением вала и барабана, *периодического действия* (подвод суспензии и выгрузка осадка производятся периодически), *полунепрерывного* (суспензия подается непрерывно, а осадок выгружается периодически) и *непрерывного действия* (подача суспензии и выгрузка осадка осуществляются непрерывно).

**Отстойная центрифуга периодического действия с ручной выгрузкой осадка** (рис.3) состоит из барабана, насаженного на вращающийся вал



помещенного в корпус. Под действием центробежной силы, возникающей при вращении барабана, твердые частицы осаждаются в виде сплошного слоя осадка на стенке барабана, а осветленная жидкость переливается в кожух и удаляется через расположенный внизу патрубков. По окончании процесса осадок выгружается из центрифуги.

Процесс в отстойной центрифуге состоит из разделения (осаждения) суспензии и отжима или уплотнения осадка.

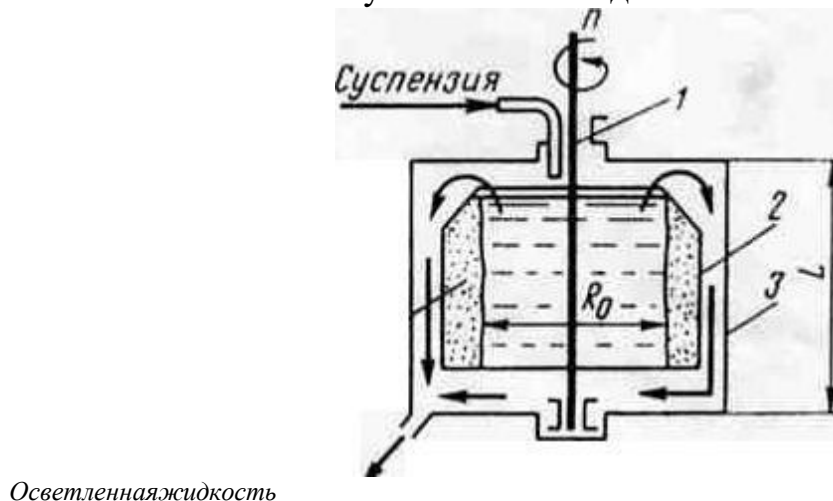


Рис.3 Отстойная центрифуга:  
1 – вал; 2 – барабан; 3 – корпус.

**Гидроциклоны** применяются для осветления, обогащения суспензий, классификации твердых частиц по размерам от 5 до 150 мкм, а также для очистки сточных вод после мойки пищевых агрегатов.

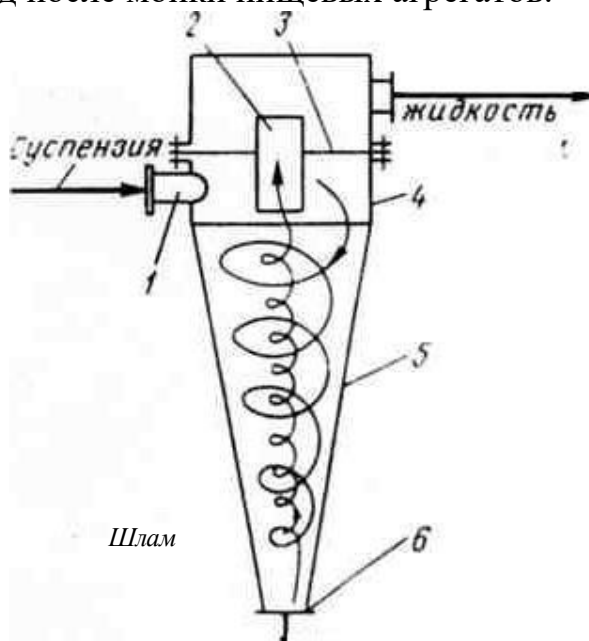


Рис.4 Гидроциклон:  
1 – тангенциальный штуцер; 2 – патрубок; 3 – перегородка; 4 – цилиндрический корпус; 5 – коническое днище; 6 – штуцер для выхода шлама.

Корпус *гидроциклона* (рис. 4) состоит из верхней цилиндрической части и конического днища. *Качество разделения суспензий в гидроциклонах зависит* от угла конусности. Оптимальным считают угол, равный 10 – 15 °. При таком угле удлиняется коническая часть гидроциклона и путь твердых частиц, следовательно, увеличиваются время пребывания частиц и качество разделения.

Суспензия подается тангенциально в цилиндрическую часть и приобретает вращательное движение. Скорость суспензии на входе в гидроциклон составляет 5 - 25 м/с. Под действием *центробежной силы* твердые частицы отбрасываются к стенкам гидроциклона и движутся по спиральной траектории вдоль стенок вниз к штуцеру 6, через который отводятся в виде шлама. Осветленная жидкость движется во внутреннем спиральном потоке вверх вдоль оси гидроциклона и удаляется через патрубки 2.

**Сепараторы** применяются для разделения тонкодисперсных суспензий и эмульсий: обеспечивают эффективное отделение дрожжей от сброженной бражки, тонкое осветление виноматериалов, обезжиривание молока и др.

### ***Контрольные вопросы***

1. Для чего применяется процесс отстаивания в пищевой промышленности?
2. Как не однородные системы разделяют методом отстаивания?
3. Как устроена и работает отстойник для разделения эмульсий?
4. Как устроена и работает отстойная центрифуга?
5. Как устроен и работает одноярусный отстойник непрерывного действия?
6. Как устроена и работает гидроциклон? От чего зависит качество разделения суспензий в гидроциклонах?
7. Что является движущей силой в центрифугах, сепараторах и гидроциклонах?

## Практическая работа

### ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы фильтров.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы песочного фильтра.

2 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы барабанного вакуум-фильтра с распределительной головкой.

3 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы фильтрующей центрифуги.

4 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы рукавного фильтра.

*Рекомендуемая литература:* Кавецкий Г. Д., Королев А. В. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 67 – 77.

### Теоретические сведения

**Фильтры, их виды, устройство и принцип действия.** *Применяемые в промышленности фильтры подразделяют:*

*по технологическому назначению* – для очистки жидкости и для очистки воздуха и газов;

*по режиму работы* – периодического и непрерывного действия;

*по способу создания движущей силы* – на вакуум-фильтры и фильтры, работающие по давлению;

*в зависимости от рода фильтровальной перегородки* – с зернистой перегородкой (песочные, угольные и др.), с тканевой и с жесткой перегородкой (металлической сеткой, пористой керамической, металлокерамической и др.).

Из фильтров периодического действия широко применяют песочные, патронные, дисковые, листовые, тарельчатые, камерные и др.

**Песочный фильтр.** *Песочный фильтр* рис.1 применяют для фильтрования воды, водок и других жидкостей с незначительным содержанием твердых и хлопьевидных примесей, образующих осадок, который не представляет ценности.

В цилиндрическом корпусе 1 песочного фильтра между металлическими сетками 2 и 3 находятся два слоя песка (крупного вверху и мелкого внизу), разделенных тканевой прокладкой 4. Ткань помещают также на нижнюю сетку, чтобы песок не попадал в фильтрат, и на верхнюю сетку для предотвращения быстрого загрязнения песка. *Фильтрование проводят под*

давлением около 0,05 МПа. По мере загрязнения песка его промывают водой, подаваемой снизу вверх.

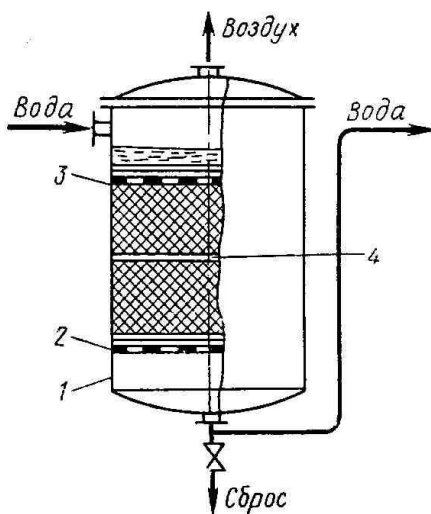


Рис. 1 Песочный фильтр

**Барабанные вакуум-фильтры** применяются для непрерывного разделения суспензий концентрацией 50-500 кг/м<sup>3</sup>. Твердые частицы могут иметь кристаллическую, волокнистую, аморфную, коллоидную структуру. Производительность фильтра зависит от структуры твердых частиц и снижается в указанной выше последовательности.

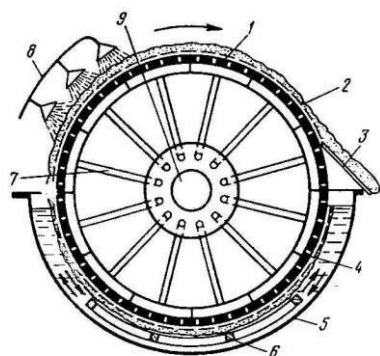


Рис. Барабанный вакуум-фильтр с распределительной головкой:  
1 — перфорированный барабан; 2 — фильтровальная ткань; 3 — ножевое устройство; 4 — секция; 5 — корыто; 6 — мешалка; 7 — труба; 8 — разбрызгиватель; 9 — распределительная головка

**Барабанные вакуум-фильтры** выпускаются 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 регенерация фильтровальной ткани.* Устройством, управляющим работой фильтра, является **распределительная головка**, через которую секции барабана в определенной последовательности подсоединяются к магистралям вакуума, сжатого

воздуха и промывной жидкости.

**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.

**Фильтрующие центрифуги** периодического и непрерывного действия подразделяют:

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 отстойных является то, что они имеют перфорированный барабан, обтянутый фильтровальной тканью.

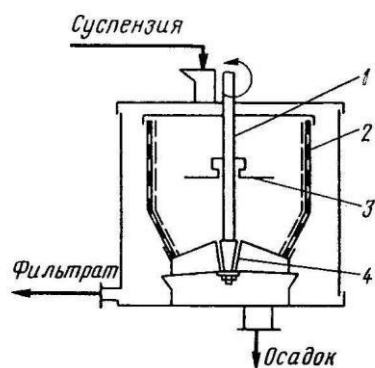


Рис. Центрифуга с гравитационной выгрузкой осадка:  
1 – вал; 2 – барабан; 3 – распределительный диск; 4 – упорная втулка

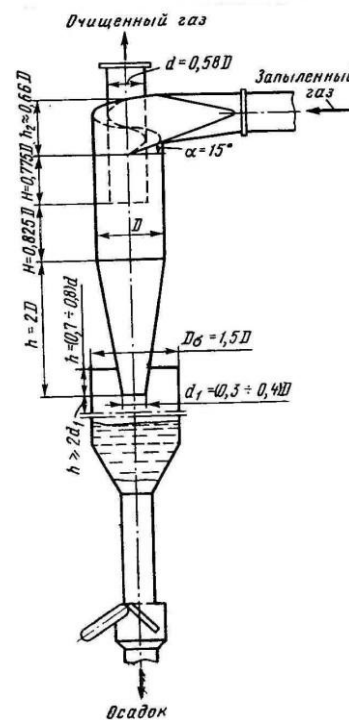
**В саморазгружающихся центрифугах** осадок удаляется под действием гравитационной силы. Такие центрифуги выполняются с вертикальным валом, на котором располагается перфорированный барабан. Суспензия подается на загрузочный диск при вращении барабана с низкой частотой. Нижняя часть барабана имеет коническую 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 нижнее выпускное отверстие.

**Циклоны** позволяют разделять фазы в поле центробежных сил. Наибольшее распространение получили циклоны конструкции НИИОГа. Циклоны выпускаются диаметром корпуса от 100 до 1000 мм. Эффективность их работы характеризуется фактором разделения.

Степень очистки газов зависит от конструкции циклона, размера частиц и их плотности. Например, если КПД циклона при улавливании частиц диаметром 25 мкм составляет 95 %, то при диаметре 10 мкм КПД снижается до 70%.

Циклоны получили широкое распространение в пищевых производствах для очистки газовых выбросов, улавливания из газовых потоков пищевого сырья: частиц сахара, барды, частиц сухого молока, дрожжей из отходящих газов распылительных сушилок и др.



### Фильтрование газов через пористые перегородки

В зависимости от вида фильтровальной перегородки фильтры бывают с мягкими, полужёсткими и жёсткими пористыми перегородками.

**Фильтры с мягкими фильтровальными перегородками** – рукавные, или мешочные, широко применяются для очистки газов от пыли. Мягкие пористые перегородки выполняются из тканевых материалов, нетканых волокнистых материалов, пористых листовых материалов (металлоткани, пористые пластмассы и резины).

**Батарейный рукавный фильтр** с фильтрующими элементами из различных тканевых материалов изображён на рис. 5. Рукава и мешки подвешиваются в прямоугольном корпусе к общей раме. Запылённый газ поступает снизу внутрь рукавов в открытые торцевые отверстия. Проходя через боковые цилиндрические поверхности рукавов, газ фильтруется, а пыль оседает на внутренней поверхности рукавов.

В процессе эксплуатации слой пыли растёт, и сопротивление фильтра увеличивается. Для регенерации фильтра рукава или мешки периодически встряхивают специальным механизмом 2, смонтированным на крышке фильтра. Осевшая пыль собирается в коническом днище фильтра, откуда выгружается шнеком.

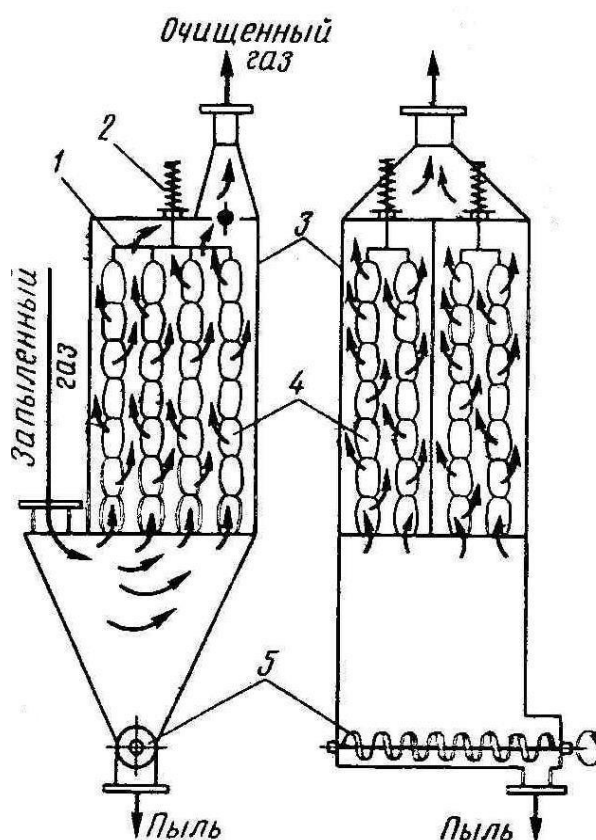


Рис. 5 Рукавный фильтр:

1-рама; 2-встряхивающий механизм; 3 – корпус; 4-рукав; 5- шнек.

В ряде случаев применяют с секционные фильтры. Каждая секция в таком фильтре имеет свой встряхивающий механизм, что позволяет

последовательно проводить регенерацию фильтрующих элементов без отключения всего фильтра.

### **Осаждение под действием электрического поля**

*В электрическом поле тонкодисперсным частицам сообщается электрический заряд, под действием которого происходит их осаждение.* Разделение пылей, дымов и туманов в электрическом поле имеет значительные преимущества перед другими способами осаждения.

Разделение газовых неоднородных смесей в электрическом поле осуществляется на электродах. Для разделения пылей и дымов применяются сухие фильтры, для разделения туманов – мокрые.

### **Контрольные вопросы**

1. Как подразделяют фильтры, применяемые в пищевой промышленности?
2. Как устроена и работает песочный фильтр?
3. Как устроен и работает барабанный вакуум-фильтр с распределительной головкой?
4. Как устроена и работает центрифуга с гравитационной выгрузкой осадка?
5. Как устроена и работает рукавный фильтр?
6. В чем достоинства циклонного процесса?
7. На каком принципе основано осаждение частиц в электрическом поле?

## Практическая работа

### ОЧИСТКА ВОЗДУХА И ГАЗОВ

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы циклона конструкции НИИОГаза. Научится вести расчет основных параметров, характеризующих работу циклона.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы циклона конструкции НИИОГаза.

2 Расчет основных параметров, характеризующих работу циклона.

*Рекомендуемая литература:* Баранцев В.И. Сборник задач по процессам и аппаратам пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 47 - 50.

### Теоретические сведения

#### Основные понятия и расчетные формулы

Циклон конструкции НИИОГаза обладает небольшим гидравлическим сопротивлением и позволяет достигать относительно высокой степени очистки.

*Сущность циклонного процесса* заключается в следующем: газовый поток с взвешенными частицами вводится в аппарат через входную трубу со скоростью 10 – 40 м/с. Благодаря тангенциальному вводу и наличию центральной выводной трубки поток начинает вращаться вокруг последней, совершая несколько витков при прохождении через аппарат. Под действием возникающих центробежных сил взвешенные частицы отбрасываются к периферии, оседают на внутренней поверхности корпуса, а затем соскальзывают в коническое днище и удаляются из циклона через патрубок. Освобожденный от взвешенных частиц поток выводится из циклона через выводную трубу.

Точный расчёт циклонов достаточно сложен, поэтому их рассчитывают упрощённо по величине гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па.

1 Фактическая скорость газа (воздуха)  $U_{\phi}$ , м/с цилиндрической части циклона определяется по формуле:

$$U_{\phi} = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \xi_{\phi}} \quad (1)$$

где  $\Delta p / \rho_{\phi}$  - фактор разделения;  $\xi_{\phi}$  - коэффициент гидравлического сопротивления.

Для циклонов НИИОГаза отношение  $\Delta p / \rho_{\phi}$  составляет 500–750 м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>. Значение коэффициента гидравлического сопротивления  $\xi_{\phi}$  отнесено к  $U_{\phi}$  принимают по опытным данным.

2 Диаметр циклона  $D$ , м определяется по заданной производительности:



$$D = \frac{4 \cdot V}{\sqrt{\pi \cdot v_{\phi}}}, \quad (2)$$

Определив диаметр цилиндрической части циклона  $D$ , м определяются остальные его размеры. На рис.1 показаны размеры циклона в зависимости от диаметра его цилиндрической части.

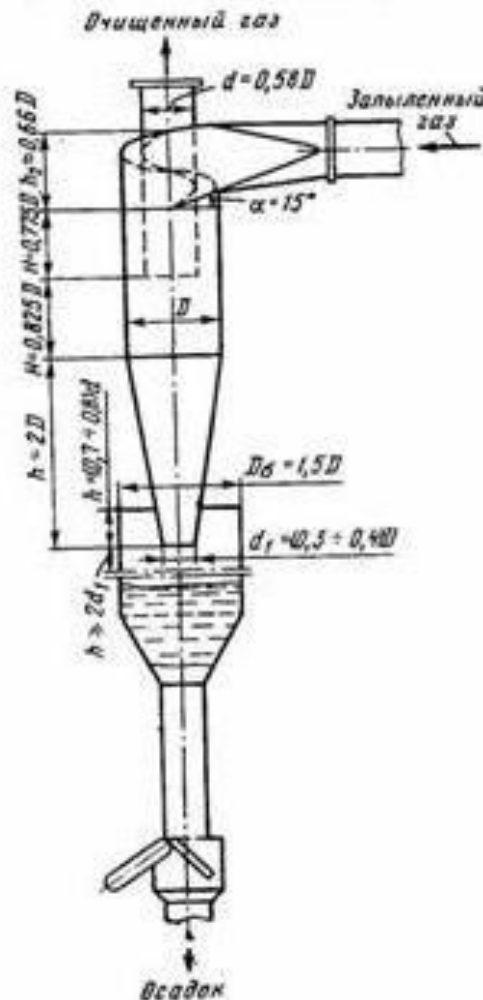


Рис.1 Циклон конструкции НИИОГаза

3 Время  $\tau$ , (с) необходимое для выделения в циклоне твердых частиц диаметром  $d_{\text{ч}}$ , (м) из взвешенного (газового) потока, определяется по формуле:

$$\tau = \frac{18 \cdot \mu_{\text{г}} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{d_{\text{ч}}^2 \cdot \omega^2 \cdot \rho_{\text{ч}}}, \quad (3)$$

где  $\mu_{\text{г}}$  - динамическая вязкость воздуха (газа), Па·с;  $d_{\text{ч}}$  - диаметр выделяемых частиц, м;  $\omega$  - угловая скорость потока в циклоне, рад/с;  $\rho_{\text{ч}}$  - плотность частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $r_1$  и  $r_2$  - наружный радиус трубы для выхода очищенного газа и внутренний радиус цилиндрической части циклона, м.

4 Объем цилиндрической части циклона  $V_{\text{ч}}$ , м<sup>3</sup> определяется по формуле:

$$V_u = V \cdot \tau, \quad (4)$$

где  $V$  - производительность циклона по воздуху (газу),  $\text{м}^3/\text{с}$ .

5 Высота цилиндрической части циклона  $H_{\text{ц}}$ , м определяется по формуле:

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_u}{0,785 \cdot (d_2^2 - d_1^2)}, \quad (5)$$

6 Гидравлическое сопротивление циклона  $\Delta P$ , Па определяется по формуле:

$$\Delta P = 0,5 \cdot \xi \cdot \rho \cdot v_{\text{г}}^2, \quad (6)$$

где  $\xi$  - коэффициент гидравлического сопротивления (для циклона НИИОГаза  $\xi_{\text{ц}} = 105$ , для батарейного  $\xi_{\text{ц}} = 85$ );  $v_{\text{г}}$  - скорость воздуха (газа) в циклоне,  $\text{м}/\text{с}$ .

Оптимальные условия работы циклонов обеспечиваются при отношении  $\Delta P / \rho_B = 550 \div 750$

### **Контрольные вопросы задания**

1. В чем заключается сущность циклонного процесса?
2. Под действием какой силы происходит разделение неоднородной смеси в циклоне конструкции НИИОГаза?
3. При каком отношении  $\Delta P / \rho_B$  обеспечиваются оптимальные условия работы циклонов?
4. Определить гидравлическое сопротивление батарейного циклона для разделения смеси воздуха с мучной пылью при  $t = 70^\circ\text{C}$  и установить, в оптимальных ли условиях он работает, если скорость воздушной смеси в циклоне  $w = 4 \text{ м}/\text{с}$ .
5. Рассчитать циклон НИИОГаза для выделения частиц сухого молока из воздуха, выходящего из распылительной сушилки. Размер выделяемых частиц  $d_{\text{г}} = 20 \text{ мкм}$ , их плотность  $\rho = 980 \text{ кг}/\text{м}^3$ , объем воздуха, поступающего в циклон  $V = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$  при  $t = 80^\circ\text{C}$   $\rho_{\text{воздуха}} = 1 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\mu_{\text{воздуха}} = 21,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$   $\Delta P / \rho_B = 650$ ,  $\xi = 105$ . окружная скорость воздуха в циклоне  $w = 12 \text{ м}/\text{с}$ ,  $\omega = \frac{w}{r_2}$ ; ( $\rho_{\text{воздуха}}$  и  $\mu_{\text{воздуха}}$  см. таблицу).

6.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t, ^\circ\text{C}$	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$d_{\text{г}}, \text{мкм}$	15	17	18	19	22	24	25	26	27
$V, \text{м}^3/\text{с}$	1,4	1,45	1,55	1,54	1,5	1,6	1,65	1,58	1,48

## Практическая работа

### ПСЕВДООЖИЖЕНИЕ

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы аппаратов с псевдоожигенным слоем. Научиться вести расчет основных показателей псевдоожигенного слоя.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы аппаратов с псевдоожигенным слоем.

2 Расчет основных показателей псевдоожигенного слоя.

*Рекомендуемая литература:* Кавецкий Г.Д., Королев А.В. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 98 - 102.

### Теоретические сведения

*Основные понятия и расчетные формулы*

#### *Аппараты с псевдоожигенным слоем*

**В цилиндрический противоточный аппарат непрерывного действия** (рис. 1, а) ожимающий газовый поток поступает снизу под газораспределительную решетку, а зернистый материал – в верхнюю часть аппарата. Для поддержания определённого уровня материала на газораспределительной решетке и вывода его из аппарата служит переточный патрубок.

**Вертикальные цилиндрические силосы** (рис. 1, б) используются для накопления и усреднения больших партий зерновых материалов. Псевдоожигенный слой создается газом (воздухом), поступающим во внутреннюю полость между двумя днищами, которая разделена концентрической перегородкой на внешнее и внутреннее кольцо. Во внешнее кольцо подается примерно в 2 раза больше газа, чем во внутреннее. За счёт разного количества газа, подаваемого во внешнее и внутреннее кольца, в силосе создается направленная циркуляция зернового материала от периферии к оси аппарата, способствующая его перемешиванию.

**В конических аппаратах** (рис. 1, в) уменьшение скорости снизу вверх позволяет псевдоожигать полидисперсные материалы. Газ подается через небольшое отверстие внизу аппарата с большой скоростью. Это позволяет при необходимости работать большой скоростью. Это позволяет при необходимости работать без газораспределительной решетки, что особенно важно при псевдоожигении комкающихся и слипающихся материалов. При значительном угле конусности аппарата струя газа может оторваться от стенок аппарата и образовать сплошной канал. По этому каналу будет двигаться с большой скоростью поток газозвеси, образующий над поверхностью слоя фонтаны твердых частиц. Такой слой называется фонтанирующим.

В аппаратах с фонтанирующим слоем возникает интенсивная циркуляция зернистого материала от оси к его стенкам.

На рис. 1, д показана *установка для пневмотранспорта* зернистого материала в разбавленной псевдооживленной фазе. Зернистый материал дозируется в пневмолинию с помощью шлюзового затвора. Разделение псевдооживленного слоя на зернистый материал и газ происходит на новом уровне в циклоне.

При псевдооживлении мелких частиц диаметром 25 – 40 мкм, обладающих склонностью к агломерации, слипанию и электризации, для улучшения перемешивания и разрушения застойных зон, а также для интенсификации процессов тепло - и массообмена использует газомеханический способ псевдооживления. При этом способе дополнительную энергию вводят в слой посредством различного перемешивания устройств и вибраторов

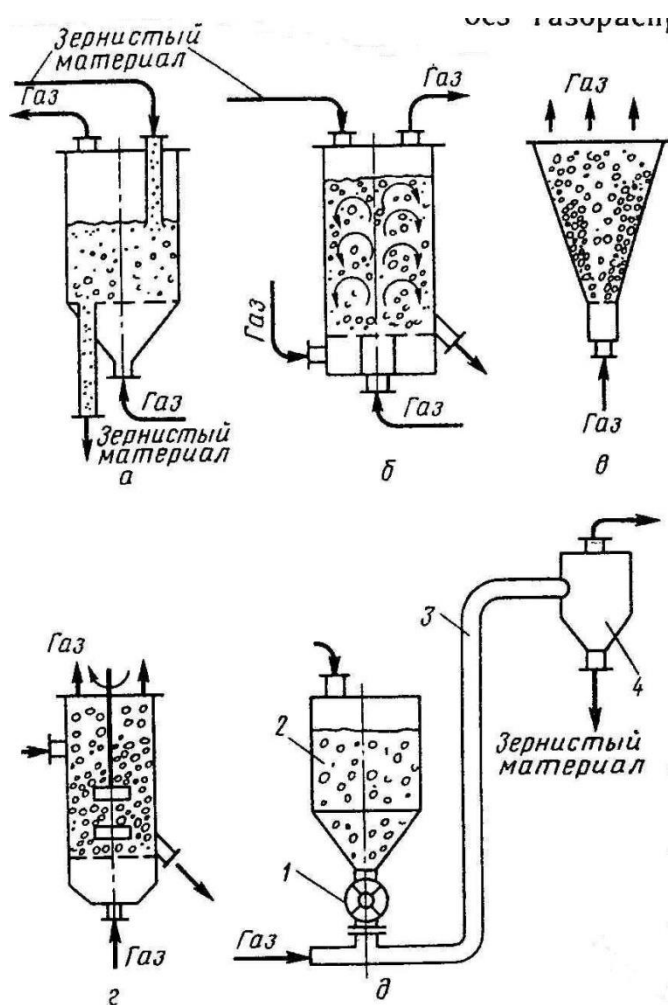


Рис.1 Схемы аппаратов в псевдооживленном слое:

*а* – цилиндрический аппарат противоточный непрерывного действия; *б* - с направленной циркуляцией (силос); *в* – конический; *г* - с перемешивающим устройством; *д* - устройство для пневмотранспорта (1 - шлюзовый затвор; 2- бункер; 3- пневмолиния; 4 – циклон).

### Расчетные формулы

1 Гидравлическое сопротивление  $\Delta P_0$ , Па оживленного (взвешенного) слоя определяется по формуле:

$$\Delta P_0 = H_0 \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot (1 - \epsilon_0) \cdot g, \quad (1)$$

где  $H_0$  - высота ожиженного слоя, м.;  $\rho_c$  - плотность частиц, кг/м<sup>3</sup>;  
 порозность ожиженного слоя.

$\varepsilon_0$

2 Порозность ожиженного слоя,  $\varepsilon_0$  определяется по формуле:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_n \cdot \left( \frac{W_0}{W_n} \right)^n, \quad (2)$$

где  $W_0$  и  $W_n$  - скорость воздуха оптимальная и в момент начала ожижения, м/с;  
 $\varepsilon_n$  - порозность слоя в начале ожижения (она обычно на 15-20 % выше порозности неподвижного слоя).

3 Показатель степени  $n$  для частиц размером  $0,3 \leq d_3 \leq 2,7$  мм определяется по формуле:

$$n = 0,065 + 0,05 \cdot d_3, \quad (3)$$

где  $d_3$  - эквивалентный диаметр частиц, мм (при  $d_3 > 2,7$  мм применяют  $n = 0,2$ ).

4 Оптимальная скорость псевдоожижения  $w_0$ , м/с определяется по формуле:

$$W_0 = W_n \cdot K, \quad (4)$$

где  $K$  - число псевдоожижения ( $K = 2-3$  и при повышенной влажности продукта доходит до 10).

5 Высота ожиженного слоя  $H_0$ , м. определяется по формуле:

$$H_0 = H_n \cdot \frac{(1 - \varepsilon_n)}{(1 - \varepsilon_0)}, \quad (5)$$

где  $H_n$  - высота слоя в начале ожижения, м.

6 Скорость воздуха начала ожижения частиц  $w_n$ , м/с находят из критериальной зависимости:

$$Re_n = \frac{w_n \cdot d_v \cdot \rho_e}{\mu_e} = \frac{Ar}{(1400 + 5,22 \sqrt{Ar})}, \quad (6)$$

где  $d_v$  - эквивалентный диаметр частиц, м.;  $\rho_e$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_e$  - динамическая вязкость воздуха, Па·с;  $Ar$  - значение критерия Архимеда.

7 Значение критерия Архимеда определяем по формуле:

$$Ar = \frac{g \cdot d^3 \cdot (\rho_c - \rho) \cdot \rho}{\mu_e^2}, \quad (7)$$

где  $\rho_c$  - плотность твердых частиц, кг/м<sup>3</sup>.

8 Скорость воздуха начала уноса частиц  $w_y$ , м/с находят из следующей зависимости:

$$Re_y = \frac{w_y \cdot d_q \cdot \rho_g}{\mu_g} = \frac{Ar}{(18 + 0,614\sqrt{Ar})}, \quad (8)$$

### **Контрольные вопросы задания**

1. Какое состояние зернистого материала называется псевдоожиженным? Как оно достигается?
2. Какие аппараты с псевдоожиженным слоем применяются в пищевой промышленности?
3. Определить гидравлическое сопротивление ожиженного слоя  $\Delta P_0$ , если высота слоя в начале ожижения  $H_H = 0,3$  м, плотность частиц  $\rho_q = 1200$  кг/м<sup>3</sup>, диаметр частиц  $d_q = 0,6$  мм, скорость начала ожижения  $w_H = 0,14$  м/с,  $K = 3$ .
4. Определить скорость начала ожижения  $w_H$  и скорость уноса  $w_y$  частиц сахара-песка в процессе высушивания его в «кипящем» слое при  $t = 90$  °С, оптимальное число ожижения  $K = 3$ , эквивалентный диаметр частиц  $d_q = 0,6$  мм и плотность  $\rho_q = 1580$  кг/м<sup>3</sup>,  $\varepsilon_H = 0,48$ , ( $\rho_{воздуха}$  и  $\mu_{воздуха}$  см. таблицу).

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t, ^\circ\text{C}$	72	74	76	78	82	84	88	94	96
$d_q, \text{мм}$	0,65	0,68	0,7	0,75	0,8	0,82	0,85	0,55	0,58
$\rho_q, \text{кг/м}^3$	1480	1490	1520	1560	1600	1620	1640	1660	1575

## Практическая работа

### УСТРОЙСТВО ТЕПЛООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы теплообменников.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы кожухотрубчатого теплообменника.

2 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы пластинчатого теплообменника.

3 Практически научиться вести расчет теплообменника.

*Рекомендуемая литература:* Кавецкий Г.Д., Королев А.В. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. .

### Теоретические сведения

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

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

**В рекуперативных теплообменниках** теплоносители разделены стенкой, и теплота передаётся от одного теплоносителя к другому через разделяющую стенку.

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

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

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

Кожухотрубчатые теплообменники являются наиболее широко распространённой конструкцией в пищевых производствах.

**Кожухотрубчатый вертикальный одноходовой** теплообменник с неподвижными трубчатыми решётками (рис. 1, а) состоит из цилиндрического корпуса, который с двух сторон ограничен приваренными

нему трубчатыми решетками с закреплёнными в них греющими трубами. Пучок труб делит весь объём корпуса теплообменника на трубчатое пространство, заключённое внутри греющих труб, и межтрубчатое. К корпусу присоединены с помощью болтового соединения два днища. Для ввода и вывода теплоносителей корпус и днища имеют патрубки. Один поток теплоносителя, например жидкость, направляется в трубчатое пространство, проходит по трубкам и выходит из теплообменника, омывает снаружи греющие трубы и выводится из корпуса теплообменника через патрубок. Теплообмен между теплоносителями осуществляется через стенки труб.

Греющие трубы соединяются с трубчатой решёткой сваркой либо развальцованы в ней (см. узел Б на рис. 1). Греющие трубы изготавливаются из стали, меди и латуни.

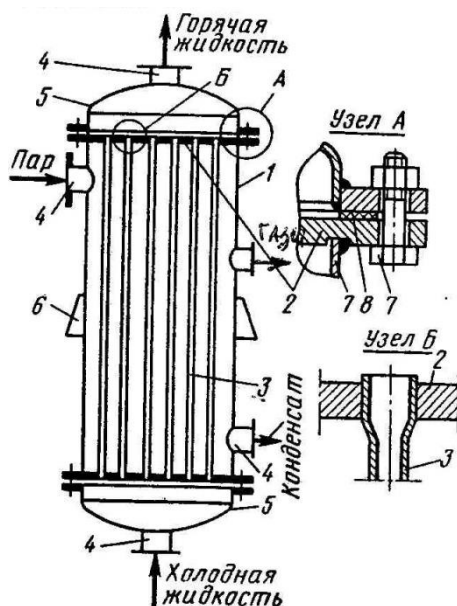


Рис. 1 Схема вертикального одноходового кожухотрубчатого теплообменника с неподвижными трубчатыми решетками (а) и размещение труб в трубчатой решетке (б):

1-корпус; 2-трубчатая решетка; 3-греющая труба; 4-патрубок; 5-днище; 6 - опорная лапа; 7 – болт; 8 - прокладка.

**Пластинчатый теплообменник.** Пластинчатые теплообменники используются в качестве нагревателей, холодильников, а также комбинированных теплообменников для пастеризации, например молока, и стерилизации (мелассы). Эти теплообменники можно собирать в виде многоступенчатых агрегатов.

Пластинчатые теплообменники компактны, обладает большой площадью поверхности теплопередачи, что достигается гофрирование пластин.

Эти теплообменники изготавливаются в виде модулей, из которых может быть собран теплообменник с площадью поверхности теплопередачи, необходимой для осуществления технологического процесса.



К недостаткам относятся сложность изготовления, возможность забивания поверхностей пластин взвешенными в жидкости твердыми частицами.

**Пластинчатые теплообменники** монтируются на раме, состоящей из верхнего и нижнего несущих брусов, которые соединяют стойку с неподвижной плитой. По направляющим стяжным шпилькам перемещается подвижная плита. Между подвижной и неподвижной плитами располагается пакет стальных штампованных гофрированных пластин, в которых имеются каналы для прохода теплоносителей. Уплотнение пластин достигается с помощью заглубленных прокладок, которые могут выдерживать высокие рабочие давления. Теплоносители к каналам, образованным пластинами, проходят по чередующим каналам сквозь разделенные прокладками отверстия.

Принцип действия пластинчатого теплообменника показан на схеме, как видно из этой схемы, теплообмен происходит в противотоке, причем каждый теплоноситель движется вдоль одной стороны пластины.

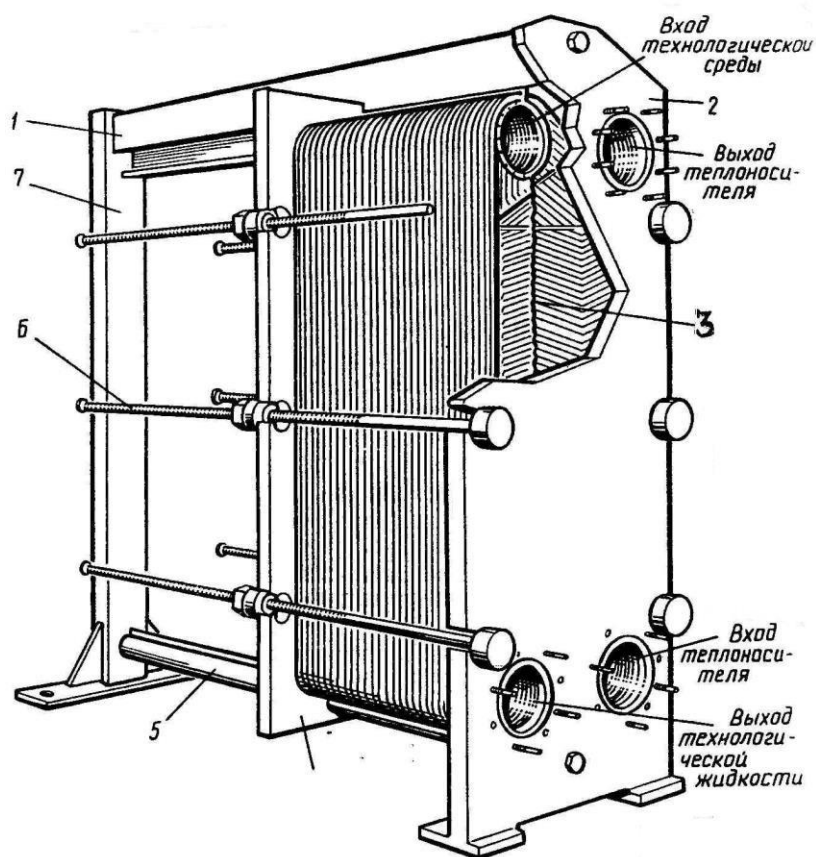
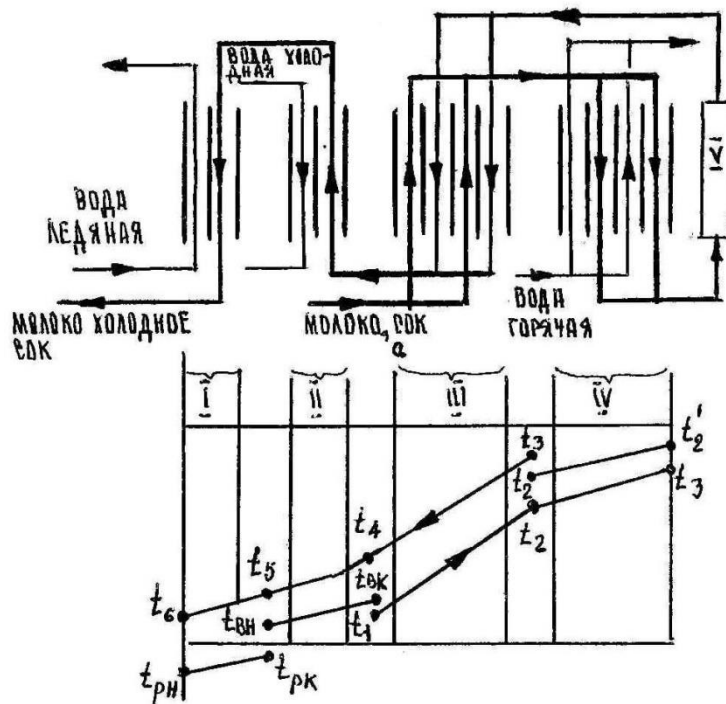


Рис.2 Пластинчатый теплообменник

1 - верхний несущий брус; 2 - неподвижная плита; 3 - пластина; 4 - подвижная плита; 5 - нижний несущий брус; 6 - направляющая стяжная шпилька.

## СХЕМА РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛОБМЕННИКА



В пастеризационно - охлаждающей установке исходное молоко подается в секцию регенерации I, где оно нагревается в результате охлаждения уже пастеризованного молока, уходящего из секции пастеризации II, через выдерживатель V. Затем из секции I молоко поступает в секцию пастеризации II, где оно нагревается горячей водой до 76-79 °С. Далее в течение 20 с. молоко проходит через выдерживатель V. После частичного охлаждения водой в секции III, оно охлаждается в секции IV до 4 °С ледяной водой. Температурный график изображен на схеме.

### Расчетные формулы

1 Основное уравнение теплопередачи для установившегося процесса  $Q$ ,

Вт

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где  $Q$  - количество переданной теплоты, Вт;  $F$  - площадь поверхности теплообмена,  $m^2$ ;  $K$  - коэффициент теплопередачи,  $Вт/(m^2 \cdot K)$ ;

$\Delta t$  - разность температур сред - движущая сила процесса,  $K$ .

2 Тепловая нагрузка  $Q$ , Вт определяется по формуле:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot \chi, \quad (2)$$

где  $\chi$  - коэффициент, учитывающий потери тепла при нагревании,

$\chi = 1,03 + 1,05 \cdot G$  - количество перерабатываемого в обогреваемом аппарате

продукта, кг/с;  $c$  - теплоемкость перерабатываемого продукта, Дж/кг·К;  $t_1$   $t_2$

-соответственно начальная и конечная температуры перерабатываемого продукта, °С.

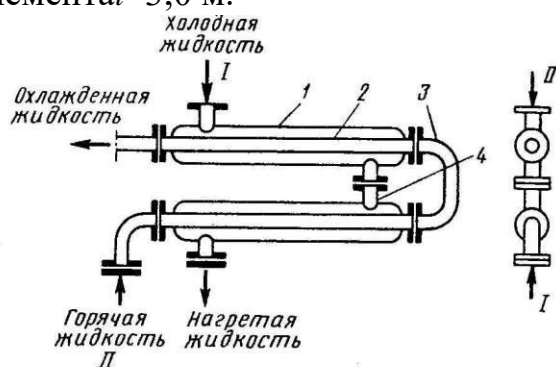
3 Число секций в теплообменнике  $n$ , шт. определяется по формуле:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_{cp} \cdot l}, \quad (3)$$

$l$  - длина одного элемента, м;  $d_{cp}$  - диаметр труб, м.

### Контрольные вопросы задания

1. Как классифицируются теплообменники по принципу действия?
2. Как осуществляется теплообмен в рекуперативных, регенеративных и смешанных теплообменниках?
3. Как устроено одноходовый кожухотрубчатый теплообменник?
4. Каково назначение пластинчатых теплообменников в пищевой промышленности? Какие достоинства и недостатки присущи пластинчатым теплообменникам?
5. Определить поверхность нагрева и число секций (элементов) теплообменная типа «труба в трубе» для нагревания воды в количестве  $G=1$  кг/с от  $t_{e1}=15$  °С до  $t_{e2}=65$  °С с горячим конденсатом, движущимся в межтрубном пространстве. Теплоёмкость воды  $C_v=4174$  Дж/кг·К. Коэффициент теплопередачи  $K=1431$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Средняя разность температур в теплообменнике  $\Delta t=40$  °С. Диаметр труб  $d_{cp}=36,5$  мм, длина одного элемента  $l=3,0$  м.



Теплообменник типа «труба в трубе»:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{e1}, ^\circ\text{C}$	10	12	14	16	18	20	15	16	17
$t_{e2}, ^\circ\text{C}$	52	54	56	58	60	62	64	66	68
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	35	36	37	38	39	40	42	44	46

## Практическая работа

### УСТРОЙСТВО МАССООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы массообменников.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы адсорбционных установок периодического и непрерывного действия.

2 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы поверхностного абсорбера.

3 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы пленочного, распыливающего абсорбера.

*Рекомендуемая литература:* Кавецкий Г.Д., Королев А.В. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 320 - 324, 234 - 236.

#### Теоретические сведения

##### *Основные понятия*

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

Движущей силой массообменных процессов является разность между рабочей и равновесной концентрациями или наоборот. Это зависит от того, которая из указанных концентраций больше.

Аппараты, в которых протекают эти процессы, называются *массообменными*.

#### 1 Адсорберы и схемы адсорбционных установок

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

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

**Вертикальный цилиндрический адсорбер** (рис. 1) является наиболее распространенной конструкцией адсорберов *периодического действия*.

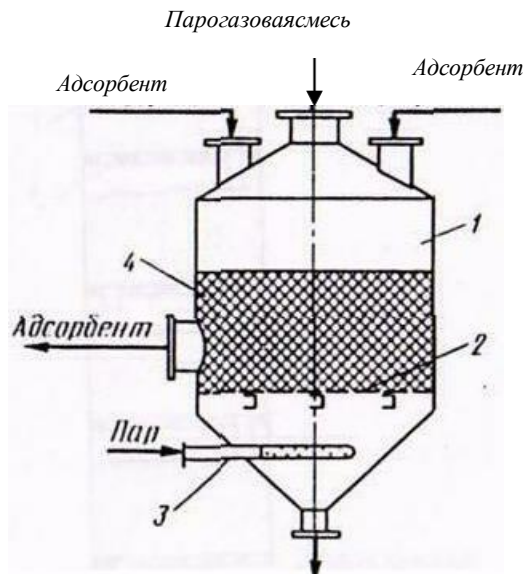


Рис.1 Адсорбер с неподвижным слоем адсорбента  
1-корпус; 2 -колосниковая решетка; 3-кольцевая труба; 4-адсорбент.

Слой гранулированного адсорбента загружается через верхние люки на колосниковую решетку. Выгрузка адсорбента происходит через нижние люки. Такие адсорберы используются для адсорбционной очистки парогазовых смесей и жидких растворов. Для подачи исходных смесей и острого пара адсорбер снабжен соответствующими штуцерами. Исходная жидкая смесь, как правило, подается снизу вверх через кольцевую трубу. Парогазовая смесь может подаваться и сверху вниз. В этом случае при десорбции острый пар подается через кольцевую трубу.

Процесс в представленном адсорбере проходит в четыре стадии: адсорбция, десорбция, сушка, охлаждение адсорбента.

После отработки адсорбента возникает задача регенерации слоя поглотителя. Десорбция адсорбированного вещества из адсорбента является необходимой стадией технологического процесса, которая решает две задачи: извлечение вещества и регенерацию адсорбента.

Основным методом десорбции является вытеснение из адсорбента поглощенных компонентов с помощью веществ, например насыщенного водяного пара, обладающих лучшей адсорбционной способностью. Для увеличения скорости десорбции процесс часто проводят при повышенных температурах.

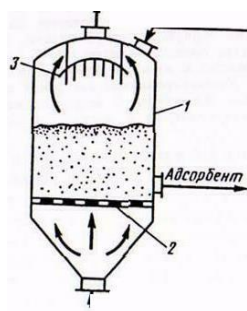


Рис.2 Одноступенчатый адсорбер непрерывного действия с псевдооживленным слоем

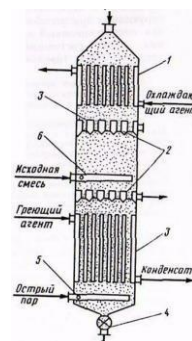


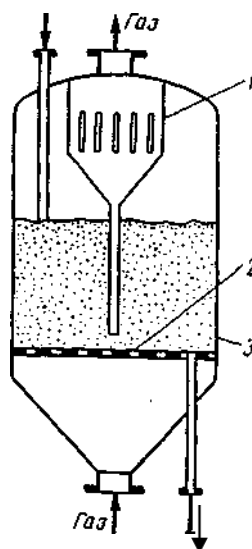
Рис. 3 Адсорбер с движущимся слоем

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

*Адсорберы с движущимся слоем зернистого адсорбента* представляют собой полые колонны с перегородками и переливными патрубками и аппараты с транспортирующими приспособлениями.

**Одноступенчатый адсорбер с псевдооживленным слоем** показан на рис. 4. Он представляет собой цилиндрический вертикальный корпус, внутри которого смонтированы газораспределительная решетка и пылеулавливающее устройство типа циклона. Адсорбент загружается в аппарат сверху через трубу и выводится через трубу снизу. Исходная парогазовая смесь вводится в адсорбер при скорости, превышающей скорость начала псевдооживления, под газораспределительную решетку через нижний патрубок, а выводится через верхний патрубок, пройдя предварительно пылеулавливающее устройство.

Адсорбент



Адсорбент

Рис. 4 Одноступенчатый адсорбер непрерывного действия с псевдооживленным слоем:

1 – пылеулавливающее устройство; 2 – газораспределительная решетка; 3 – корпус.

## 2 Конструкции абсорберов

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

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

**В поверхностных абсорберах** газ пропускается под поверхностью движущейся жидкости. Так как в поверхностных абсорберах поверхность контакта фаз невелика, то устанавливают несколько последовательно соединенных аппаратов, в которых газ и жидкость движутся противотоком друг к другу. На рис. 5 показан **оросительный абсорбер** из горизонтальных труб, внутри которых протекает жидкость, а противотоком к ней движется газ. Уровень жидкости в трубах поддерживается с помощью порога. Охлаждение абсорбера происходит с поверхности орошаемой жидкости.

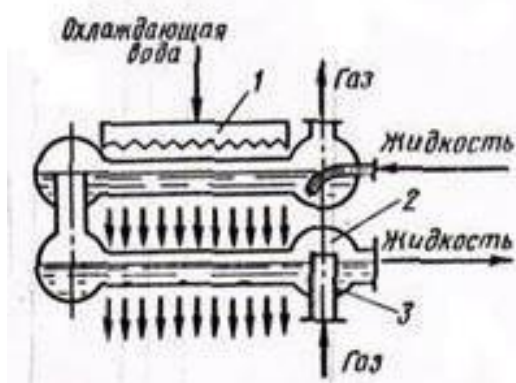


Рис.5 Поверхностный абсорбер:  
1 – распределитель; 2 – труба;  
3 – порог.

Для равномерного распределения жидкости по поверхностям труб установлен зубчатый распределитель.

**Пленочные абсорберы** более компактны и эффективны, чем поверхностные. В пленочных абсорберах поверхностью контакта фаз является поверхность стекающей пленки жидкости. К абсорберам этого типа относятся **трубчатые аппараты**, в которых жидкость стекает по внешней поверхности вертикальных труб сверху вниз, а газ подается снизу абсорбера противотоком стекающей пленке; абсорберы с плоскопараллельной или листовой насадкой; абсорберы с восходящей пленкой.

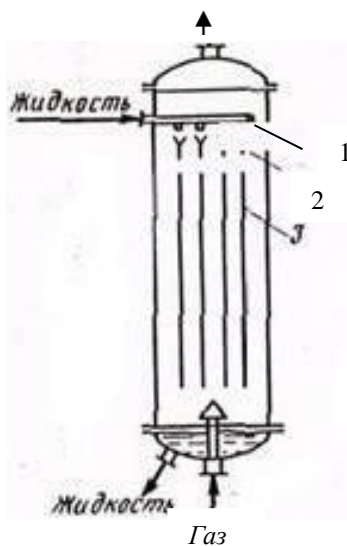


Рис. 6 Пленочный абсорбер: 1 – труба; 2 – распределительное устройство; 3 – плоскопараллельная насадка.

**Распыливающие абсорберы** работают по принципу контакта фаз в результате распыливания или разбрызгивания жидкости в газовом потоке.

Простейшим примером распыливающих абсорберов является **полый распыливающий абсорбер** с механическими форсунками (рис. 7).

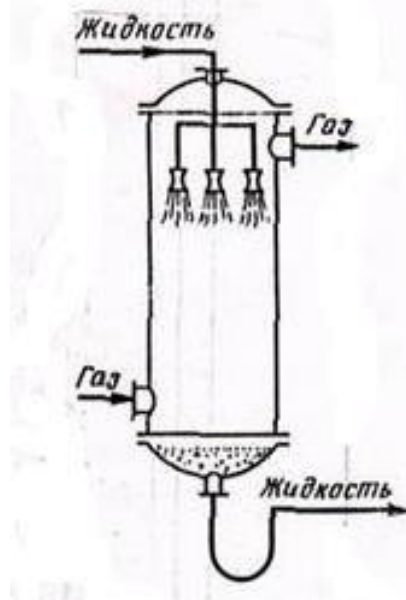


Рис. 7 Распыливающий абсорбер

Наибольшие коэффициенты массопередачи имеют место в момент распыления жидкости, а затем они резко снижаются вследствие коалесценции капель и уменьшения поверхности фазового контакта.

Часто форсунки устанавливаются по всей высоте абсорбера.

*Распыливающие абсорберы* применяются для абсорбции хорошо растворимых газов.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие конструкции абсорберов применяются в пищевой промышленности?
2. Что является поверхностью контакта фаз в пленочных абсорберах?
3. В чем заключается принцип работы поверхностного абсорбера?
4. Какие конструкции адсорберов применяются для очистки растворов в пищевой промышленности?
5. Какие конструкции адсорберов применяются для очистки газовых выбросов?
6. В чем заключается принцип работы адсорбера с неподвижным слоем адсорбента?



7. В чем заключается принцип работы одноступенчатого адсорбера непрерывного действия с псевдооживленным слоем?

Практическая работа  
ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

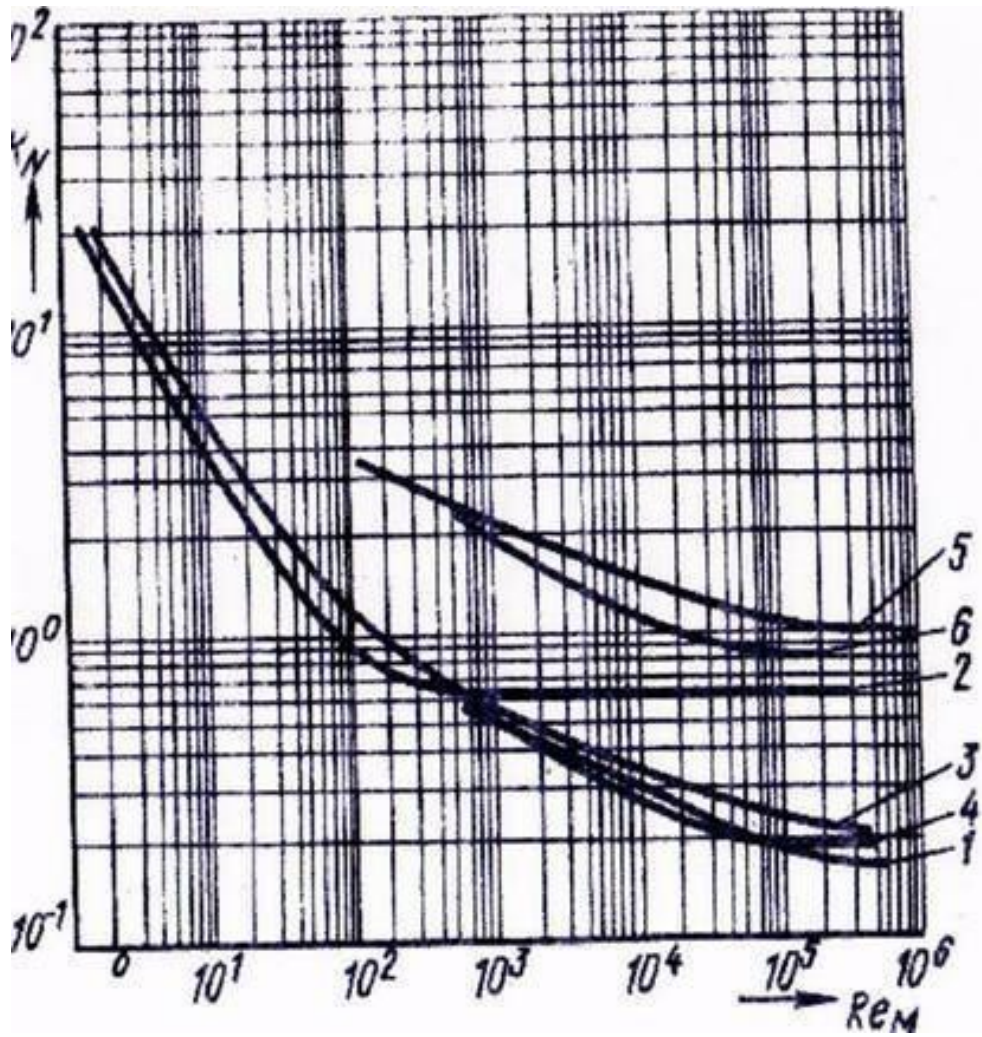


Рис. 1 Зависимость коэффициента мощности  $K_N$  от значения  $Re_M$

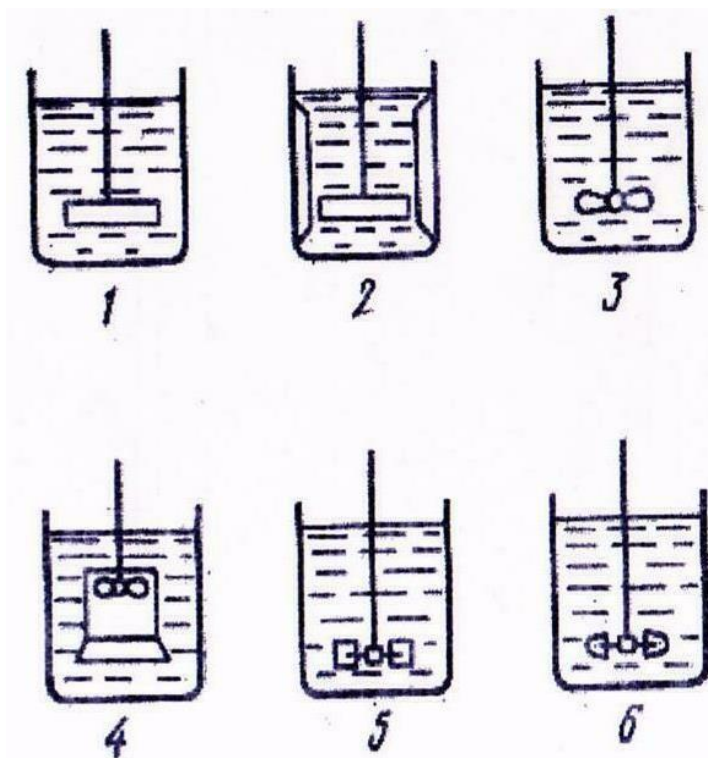


Рис.2 Геометрические характеристики мешалок (к рис.1)

- 1 – Двухлопастная безперегородок мешалка;
- 2 - Двухлопастная с четырьмя перегородками мешалка;
- 3 – Пропеллерная мешалка;
- 4 – Пропеллерная мешалка в диффузоре;
- 5 – Турбинная мешалка;
- 6 - Открытая турбинная с шестью плоскими лопатками мешалка.

Мощность, потребляемая мешалкой в рабочий период  $N_p$  (вВт), определяется:

$$N_p = K_N \cdot a \cdot n^3 \cdot d^5 \cdot \rho \quad (1)$$

где  $d$  - диаметр мешалки, м;  $n$  - частота вращения мешалки, об/с;  $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $K_N$  - коэффициент мощности (для модельных мешалок  $K_N$  находят по графику рис.1 в зависимости от типа мешалки рис. 2 и критерия Рейнольдса для мешалки).

## ОБРАТНЫЙ ОСМОС И УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЯ

*Обратный осмос* – это способ разделения растворов путем их фильтрации под давлением через полупроницаемые мембраны, пропускающие растворитель и задерживающие молекулы или ионы растворенных веществ.

*Ультрафильтрацией* называется процесс разделения, фракционирования и концентрирования растворов с помощью полупроницаемых мембран. При этом жидкость непрерывно подается в пространство над мембраной под давлением 0,1–1,0 МПа.

При ультрафильтрации исходный раствор разделяется на два принципиально новых продукта: низкомолекулярный (фильтрат) и высокомолекулярный. Фильтрат проходит сквозь мембрану и удаляется через дренажную систему, а высокомолекулярный продукт концентрируется. Ультрафильтрация позволяет выделять молочные белки из вторичных продуктов молочной промышленности и ценные вещества из других пищевых растворов, получать дополнительные резервы производства продуктов питания.

Применение мембранных процессов в пищевой технологии позволяет значительно снизить энергоемкость процессов обезвоживания фруктовых и овощных соков, сиропов, экстрактов по сравнению с процессами выпаривания или вымораживания, улучшить качество и повысить выход получаемых продуктов.

Например, выход фруктовых соков из исходного продукта при ультрафильтрации увеличивается до 95÷99 %.

Ультрафильтрацией обезжиренного молока получают молочный концентрат, который используется в производстве различных видов сыров, творожных масс и кисломолочных продуктов, что увеличивает выход продукции.

Ультрафильтрация сырого сахарного сока позволяет получить чистый, свободный от коллоидов фильтрат, идущий непосредственно на кристаллизацию сахарозы.

Ультрафильтрация успешно заменяет пастеризацию пива. При этом из пива удаляются бактерии и высокомолекулярные вещества, ухудшающие его качество и снижающие стабильность. Стоимость обработки пива ультрафильтрацией в 2,5 раза ниже, чем пастеризацией.

Обработка виноградных вин обратным осмосом позволяет решить вопрос их стабилизации. При использовании обратного осмоса через мембрану проходят вода и этиловый спирт, а ионы калия и винная кислота остаются в концентрате, из которого интенсивно выпадает винный камень.

После фильтрации концентрата его смешивают с фильтратом, что повышает его стабильность на длительный срок.

Обратным осмосом концентрируют яичный белок. При этом не происходит денатурирования протеинов и получают яичный белок с содержанием до 30 % протеинов.

*Теоретические основы разделения обратным осмосом и ультрафильтрацией.* В основе метода разделения растворов обратным осмосом лежит явление самопроизвольного перехода растворителя через полупроницаемую мембрану в раствор (рис.1). Если давление над раствором ниже осмотического ( $p < \pi$ ), то растворитель будет переходить в раствор до достижения осмотического равновесия в системе.



Рис. 1 Схема разделения раствора обратным осмосом

Равновесное состояние наступает, когда гидростатическое давление между раствором и растворителем, определяемое разностью уровней, станет равным осмотическому давлению ( $p = \pi$ ).

Если после достижения осмотического равновесия со стороны раствора приложить давление, превышающее осмотическое ( $p > \pi_1$ ), то растворитель начнет переходить из раствора в обратном направлении. В этом случае будет иметь место обратный осмос. Растворитель, прошедший через мембрану, называют *фильтратом*.

Движущей силой процесса обратного осмоса является перепад давления  $\Delta p = p - \pi$ , где  $p$  – избыточное давление под раствором;  $\pi$  – осмотическое давление раствора.

Если в процессе обратного осмоса наблюдается некоторый переход через мембрану растворенного вещества, то при расчете движущей силы следует учитывать осмотическое давление фильтрата, прошедшего через мембрану. Тогда  $\Delta p = p - (\pi_1 - \pi_2) = p - \Delta \pi$ .

Для приближенного расчета осмотического давления может быть использована формула Вант-Гоффа  $\pi = x \times R \times T$ ,

где  $x$  — мольная доля растворимого вещества;  $R$

— газовая постоянная;

$T$  — абсолютная температура раствора, К.

Осмотические давления растворов могут достигать десятков мегапаскалей. Давление в обратноосмотических установках должно быть значительно больше осмотического, так как эффективность процесса определяется движущей силой — разностью между рабочим и осмотическим давлением. Так, например, при осмотическом давлении морской воды,

содержащей 35 % солей, равном 2,45 МПа, рабочее давление в опреснительных установках должно составлять около 7,85 МПа (80 атм).

Ультрафильтрацию применяют для разделения систем, в которых молекулярная масса растворенных в растворителе компонентов значительно превышает молекулярную массу растворителя. Для разделения водных растворов ультрафильтрацию применяют, когда растворенные компоненты имеют молекулярную массу 500 и выше. Движущей силой ультрафильтрации является разность рабочего и атмосферного давления. Обычно ультрафильтрацию проводят при невысоких давлениях, равных 0,1–1,0 МПа. *Ультрафильтрация протекает под действием перепада давлений до и после мембраны.*

*Мембраны должны обладать следующими свойствами:*

- высокой разделяющей способностью (селективностью);
- высокой удельной производительностью (проницаемостью);
- постоянством своих характеристик в процессе эксплуатации;
- химической стойкостью в разделяющей среде;
- механической прочностью;
- невысокой стоимостью.

Мембраны изготавливаются из различных материалов: полимерных пленок, стекла, металлической фольги и т. д. Наибольшее распространение получили мембраны из полимерных пленок.

## **Практическая работа**

### **УСТРОЙСТВАМЕМБРАННЫХ АППАРАТОВ**

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы мембранных аппаратов.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы мембранного фильтр-пресса.

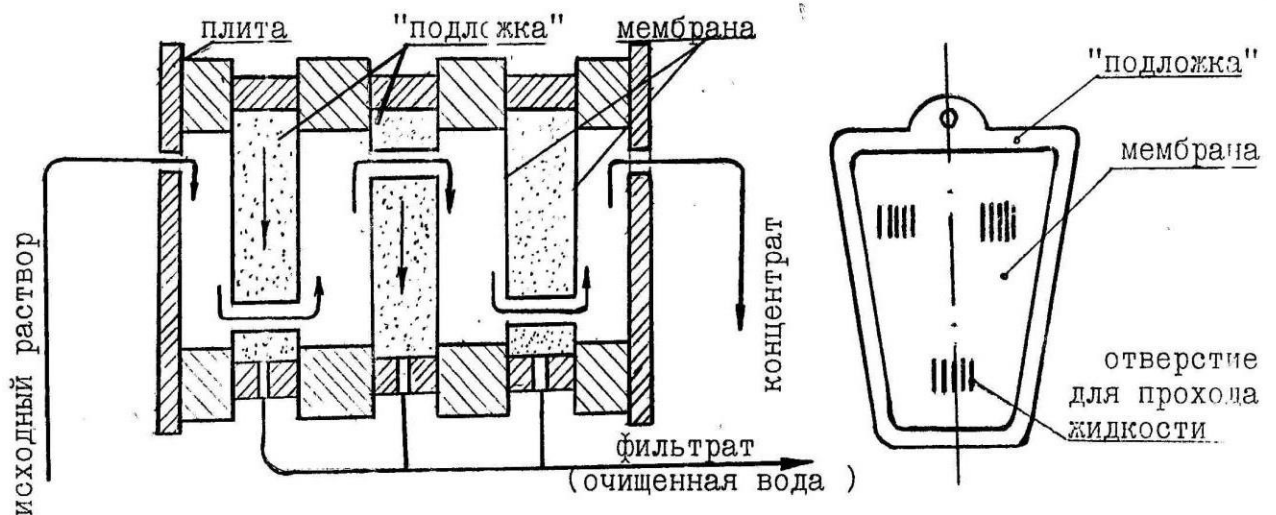
2 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы с ультрафильтрационной установкой с цилиндрическим фильтрующим элементом.

*Рекомендуемая литература:* Кавецкий Г.Д., Королев А.В. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 123 – 128.

### **Теоретические сведения**

Аппараты для обратного осмоса и ультрафильтрации бывают периодического и непрерывного действия. В промышленности работают проточные аппараты непрерывного действия.

*По способу расположения мембранных аппаратов делятся на аппараты типа «фильтр – пресс» с плоскокамерными фильтрующими элементами и аппараты с мембранами в виде волокон.*



а б  
Рис. 1 Мембранный фильтр-пресс (а) и «подложка» (б)

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

Основой этой конструкции является фильтровальный элемент, состоящий из двух мембран, уложенных по обе стороны листов «подложки», изготовленных из пористого материала (полимерного). Эти листы расположены на расстоянии от 0,5 до 5 мм, образуя межмембранное пространство для разделяемого раствора. Фильтруемый раствор последовательно проходит через все фильтрующие элементы и концентрируется. Концентрат и фильтрат непрерывно удаляются из аппарата. Производительность аппарата по сыворотке составляет  $q = 5,0 - 6,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ , по концентрату  $q = 0,16 - 0,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### Цилиндрические фильтрующие элементы

Цилиндрические фильтрующие элементы изготавливаются трёх типов:

- с мембранами, расположенными на внутренней поверхности дренажного каркаса;
- с мембранами, расположенными на внешней поверхности дренажного каркаса;
- с комбинированным расположением мембран.



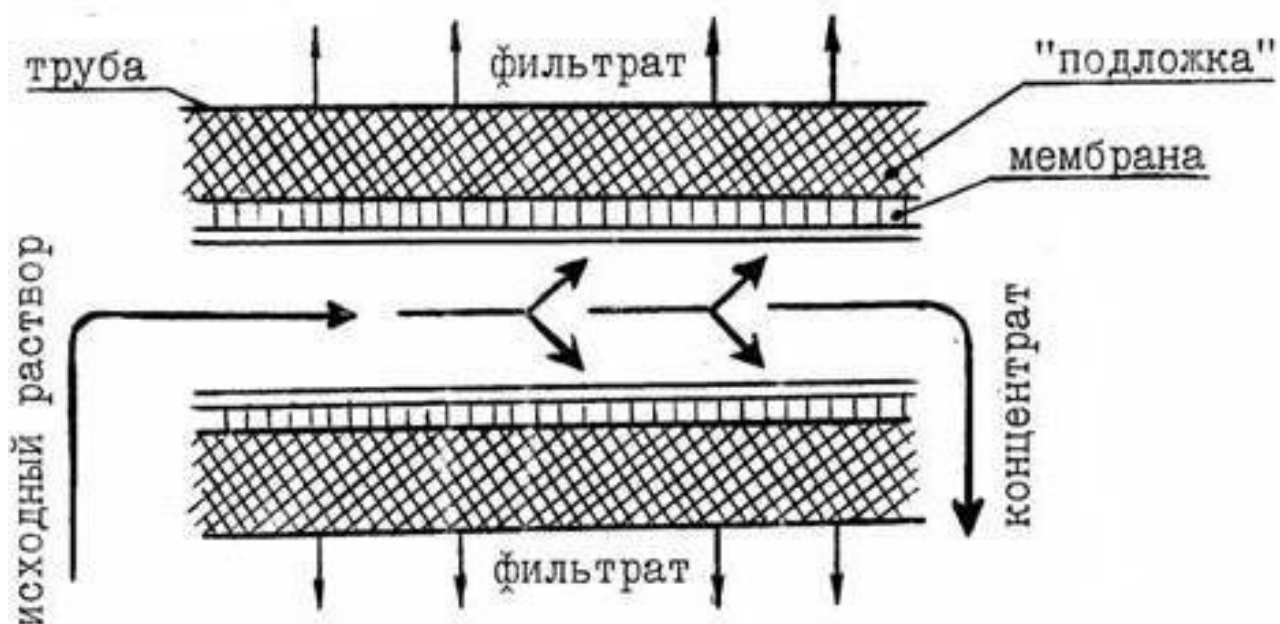


Рис.2 Ультрафильтрационная установка с цилиндрическим фильтрующим элементом

Ультрафильтрационные установки с цилиндрическими фильтрующими элементами широко применяются для осветления фруктовых соков. От сока отделяются все вещества, вызывающие его помутнение (протеин, крахмал, пектин, частицы целлюлозы и другие вещества). В осветлённом соке содержатся все вещества в натуральном составе.

Цилиндрический фильтровальный элемент состоит из мембраны и дренажного каркаса. Дренажный каркас выполнен из перфорированной трубы, обеспечивающей прочность элемента и отвода фильтрата, и пористой «подложки» предотвращающей вдавливание мембраны в дренажные отверстия трубы под действием рабочего давления.

### **Контрольные вопросы**

1. Для каких целей применяются обратный осмос и ультрафильтрация в пищевой технологии?
2. Из каких материалов можно изготовить мембраны?
3. В чем заключается принцип работы мембранного фильтр-пресса?
4. В чем заключается принцип работы ультрафильтрационной установки с цилиндрическим фильтрующим элементом?



## Практическая работа

# КОНДЕНСАЦИЯ И КОНДЕНСАТОРЫ

*Цель занятия:* Ознакомиться с назначением, устройством и принципом работы конденсаторов.

*План занятия.* 1 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы поверхностных конденсаторов.

2 Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы конденсаторов смешения.

*Рекомендуемая литература:* Кавецкий Г. Д., Королева А. В. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, Стр. 160 - 169.

## Теоретические сведения

### 1 Общие сведения

**Конденсацией** называют процесс перехода пара или сжатого до критического состояния газа в жидкое состояние. Сжижение пара достигается охлаждением его, а газа – сжатием с последующим охлаждением. *Процесс конденсации широко применяется* в пищевых производствах, например для сжижения паров спирта, углекислого газа (для получения жидкой углекислоты), аммиака и фреонов в холодильных установках, а также для создания определённого разрежения в выпарных, фильтрационных, сушильных и других вакуумных установках.

Аппараты, в которых происходит конденсация, называют **конденсаторами**. В качестве охлаждающего агента в них обычно применяют воду, реже воздух и другие хладоносители. Различают поверхностные конденсаторы и конденсаторы смешения. В *поверхностных конденсаторах* конденсирующиеся пары или газы и охлаждающая вода разделены теплопроводящей стенкой, и конденсация паров происходит на внутренней или внешней поверхности холодной стенки. В *конденсаторах смешения* пары конденсируются в результате непосредственного смешения их с водой.

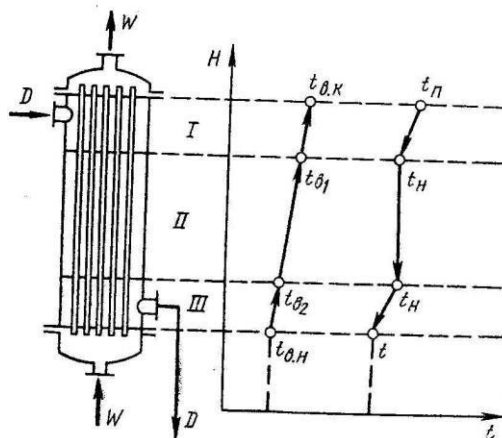


Рис. 1 Кожухотрубный конденсатор

## 2 Поверхностные конденсаторы

Поверхностные конденсаторы применяют в тех случаях, когда необходимо получить конденсат в чистом виде или сконденсировать пары ценной жидкости (спирта, ацетона, бензина и т.д.). По устройству эти конденсаторы аналогичны поверхностным теплообменникам, из которых для конденсации широко применяют теплообменники типа «труба в трубе», кожухотрубные и оросительные

Теплообменники типа «труба в трубе» состоят из ряда наружных труб большого диаметра и расположенных внутри них труб меньшего диаметра (рис. 2). Внутренние и внешние трубы элементов соединены друг с другом последовательно помощью колени патрубков. Один из теплоносителей – I – движется по внутренней трубе, а другой – II – по кольцевому каналу, образованному внутренней и внешней трубами. Теплообмен осуществляется через стенку внутренней трубы.

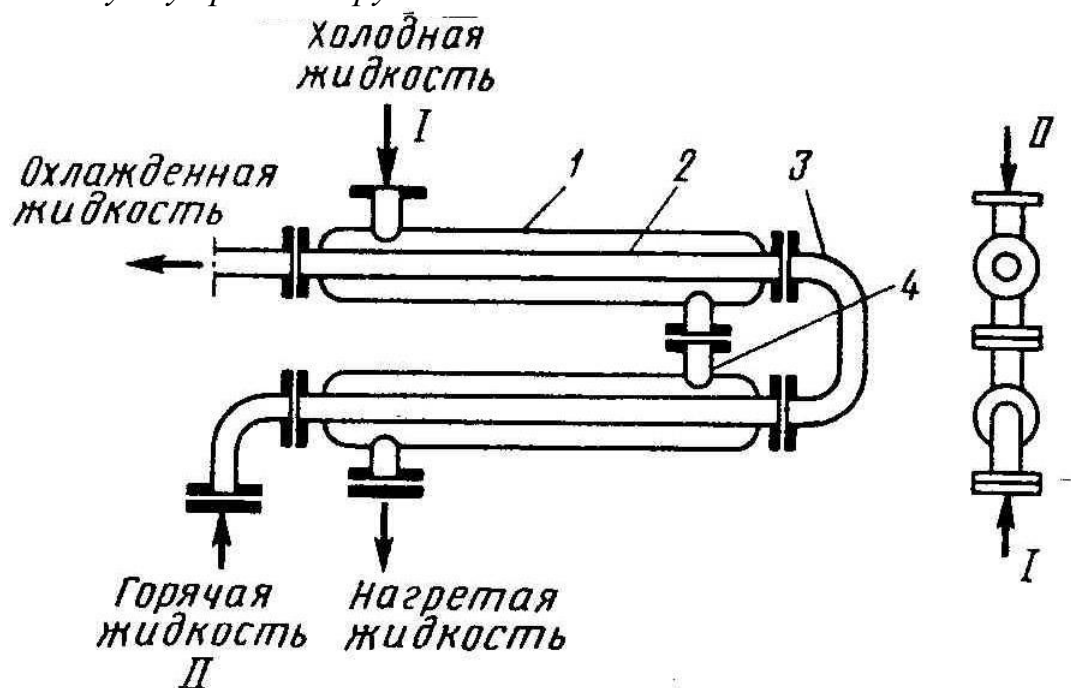


Рис. 2 Теплообменник типа «труба в трубе»:

1 – наружная труба; 2 – внутренняя труба; 3 – колено; 4 – патрубок; I, II – теплоносители

В этих теплообменниках достигаются высокие скорости теплоносителей, как в трубах, так и в межтрубчатых пространствах. При необходимости создания больших площадей поверхностей теплопередачи теплообменник составляют из нескольких секций, получая батарею.

Достоинствам теплообменников «труба в трубе» являются высокий коэффициент теплопередачи вследствие большой скорости обоих теплоносителей, простота изготовления.

Недостатки этих теплообменников заключаются в громоздкости, высокой металлоёмкости, трудности очистки межтрубчатого пространства.

Теплообменники «труба в трубе» применяются при небольших расходах теплоносителей для теплообмена между двумя жидкостями и между жидкостью и конденсирующимся паром.

**Оросительные теплообменники** применяются для охлаждения жидкостей, газов и конденсации паров. Состоят они (рис. 2) из нескольких расположенных одна над другой труб, соединенных коленами. По трубам протекает охлаждаемый теплоноситель. Охлаждающая вода поступает в распределительный желоб с зубчатыми краями, из которого равномерно перетекает на верхнюю трубу теплообменника и на расположенные ниже трубы. Часть охлаждающей воды испаряется с поверхности труб. Под нижней трубой находится желоб для сбора воды. Коэффициент теплопередачи в таких теплообменниках невелик.

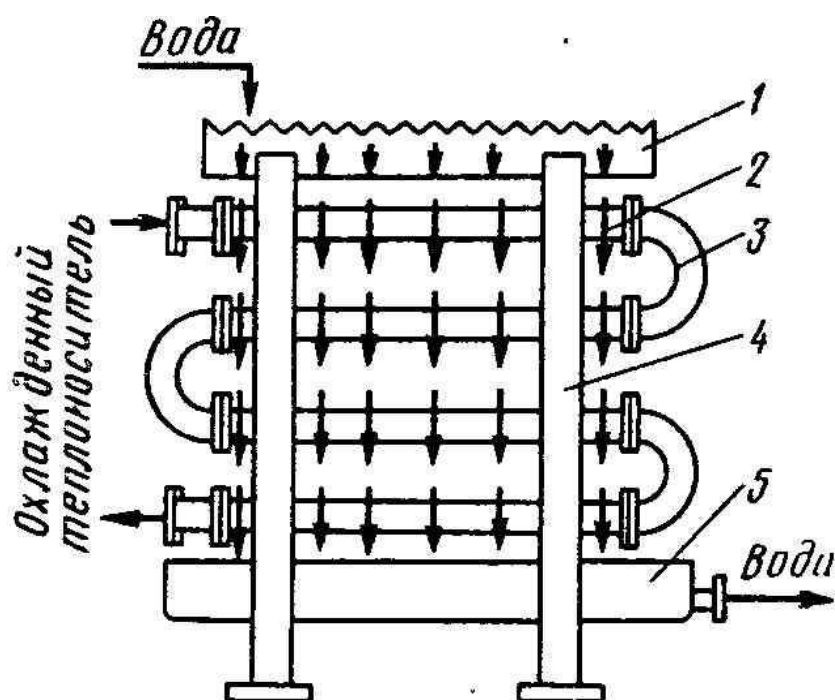


Рис.3 Оросительный теплообменник:

1–распределительный желоб; 2–труба; 3–колесо; 4–стойка; 5 –сборный желоб.

Оросительные теплообменники просты по устройству, но металлоёмки. Обычно они устанавливаются на открытом воздухе.

### 3 Конденсаторы смешения

Конденсаторы смешения применяются для конденсации неиспользуемых в производстве водяных паров жидкостей, практически не растворяющихся в воде.

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

**Мокрый прямоточный конденсатор** (рис. 4) предназначен для конденсации пара водой. Охлаждающая вода вводится в конденсатор через сопла. Распыление воды значительно увеличивает площадь поверхности теплообмена между паром и водой. При взаимодействии капелек воды с паром пар конденсируется. Конденсат, вода и несконденсировавшиеся газы откачивают из конденсатора мокровоздушным насосом.

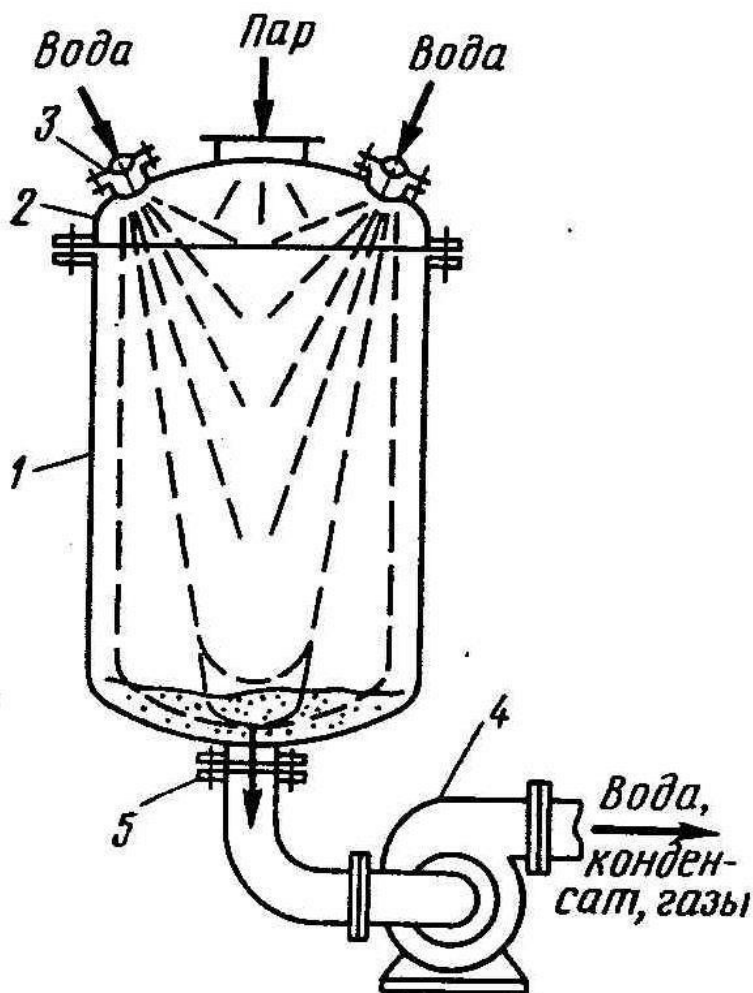


Рис. 4 Прямоточный конденсатор  
1 – корпус; 2 – крышка; 3 – распыливающее сопло; 4 – мокровоздушный насос; 5 – штуцер.

**В противоточном сухом конденсаторе смешения** (рис. 5) взаимодействие пара и охлаждающей воды происходит в противотоке. Охлаждающая вода поступает на верхнюю перфорированную тарелку конденсатора, а пар – под нижнюю тарелку. Вода протекает с тарелки на тарелку в виде тонких струй через отверстия и борта. *Взаимодействие пара с жидкостью происходит в межтарельчатом объёме конденсатора.* Образовавшийся в результате конденсации пара конденсат вместе с водой выводится через барометрическую трубу, конец которой опущен в колодец, а воздух отсасывается через ловушку вакуум насосом.

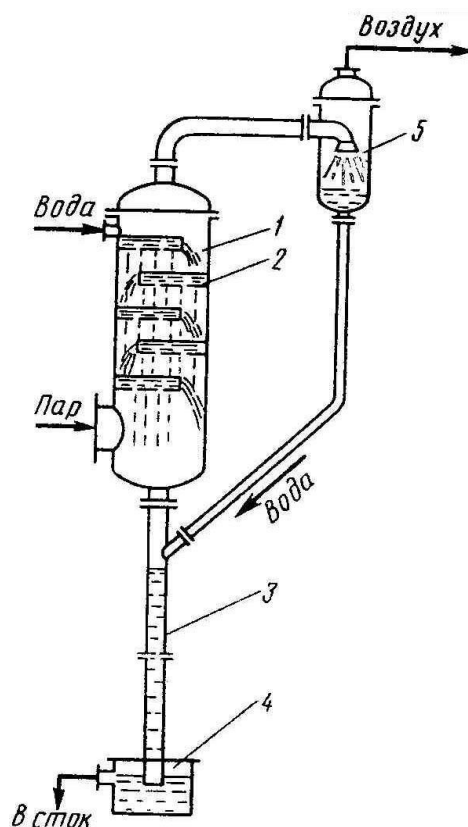


Рис.5 Барометрический конденсатор:

1–корпус; 2 –тарелка; 3–барометрическая труба; 4 –колодец; 5–ловушка.

Процесс конденсации в барометрических конденсаторах протекает под вакуумом. Обычно абсолютное давление в них составляет 0,01 – 0,02 МПа. Для уравнивания разности давления в барометрическом конденсаторе и атмосферного служит столб жидкости, находящейся в барометрической трубе.

Основным регулируемым параметром процесса конденсации в конденсаторе смешения является величина вакуума, создаваемого в корпусе; она зависит от нагрузки конденсатора по пару, расхода и температуры воды, содержания неконденсирующихся газов в системе и подсоса воздуха извне.

### Контрольные вопросы

1. Для чего применяется процесс конденсации в пищевой промышленности?
2. В каких случаях применяют теплообменники типа «труба в трубе»? Какие достоинства и недостатки присущи этим теплообменникам?
3. Как устроена работа оросительный теплообменник?
4. Как устроена работа мокрый проточный конденсатор?
5. Как устроена работа противоточный сухой конденсатор смешения?

## Список литературы

### Основные электронные издания

1. Бакин, И.А. Процессы и аппараты пищевых производств: учебное пособие / И. А. Бакин, В. Н. Иванец. — Кемерово: КемГУ, 2020. — 235 с. — ISBN 978-5-8353-2598-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/156113>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Вобликова, Т.В. Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие / Т.В. Вобликова, С.Н. Шлыков, А.В. Пермяков. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 204 с. — ISBN 978-5-8114-4163-1. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/206393>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Наумченко, И.С. Процессы и аппараты : учебное пособие / Наумченко И. С. , Терехина А. В. , Желтоухова Е. Ю. , Копылов М. В. - Воронеж : ВГУИТ, 2019. - 340 с. - ISBN 978-5-00032-404-2. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785000324042.html>. - Режим доступа: по подписке.
4. Сергеев, А.А. Процессы и аппараты пищевых производств: учебное пособие / А. А. Сергеев. — Ижевск: Ижевская ГСХА, 2013. — 373 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/134010> (дата обращения: 02.06.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### Дополнительные источники

1. Достижения науки и техники АПК: ежемес. теорет. и науч.-практ. журн. - Москва: [б. и.], 1987. - ISSN 0235-2451. — Текст: непосредственный.
2. Пищевая промышленность. — Москва: Пищевая промышленность, 1930. — . — Выходит ежемесячно. — ISSN 0235-2487. — Текст: непосредственный.
3. Справочная Правовая Система Консультант Плюс.
4. Электронно-библиотечная система издательства «Лань».
5. Электронно-библиотечная система «Znanium.com».
6. Электронно-библиотечная система «Электронная библиотека технического ВУЗа («Консультант студента»).

## РЕЦЕНЗИЯ

на методические материалы по дисциплине «Процессы и аппараты  
пищевых производств»

подготовленные преподавателем УКАБФГБОУ ВО Омский ГАУ

**Селиной Натальей Ивановной**

Представленные на рецензирование методические материалы, предназначены для обучающихся по ПООП-П специальности 19.02.11 Технология продуктов питания из растительного сырья, разработано на основе рабочей программы учебной дисциплины «Процессы и аппараты пищевых производств».

Настоящие методические материалы имеют своей целью оказать информационную и методическую помощь обучающимся в организации аудиторной и внеаудиторной работы, в подготовке к промежуточной и государственной итоговой аттестации. Логическая последовательность разделов и тем дает возможность обучающимся сформировать общие и профессиональные компетенции, предусмотренные ФГОС СПО по дисциплине общепрофессионального цикла «Процессы и аппараты пищевых производств». При выполнении практических работ студенты закрепляют приобретенные на лекциях теоретические знания, учатся применять законодательную базу при решении задач, возникающих в практической деятельности специалистов среднего звена; знакомятся с классификацией основных процессов в соответствии с конкретной отраслью пищевой промышленности; изучают устройства и принципа действия аппаратов; производят согласно методики расчета аппаратов при заданных технологических параметрах процесса.

Теоретическая и практическая ценность рецензируемого пособия обусловлена тем, что в настоящее время соответствующая методическая обеспеченность всех видов учебных единиц и учебных занятий является одним из аккредитационных показателей профессиональной образовательной организации. Существенная роль этого пособия проявляется при организации самостоятельной работы обучающихся.

Считаю, что методические материалы заслуживают положительной оценки и могут быть рекомендованы к изданию и использованию в учебном процессе в качестве методических материалов по выполнению практических работ по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств» для обучающихся СПО по ПООП-П 19.02.11 Технология продуктов питания из растительного сырья.

Генеральный директор  
ОАО «Хлебная база № 3»



Г. М. Мельников