

Процессы и аппараты пищевых производств

Кисимов Борис Михайлович, к.т.н., доц.

<i>Направление подготовки</i>	<i>Лекций</i>	<i>Лаборат. работ</i>	<i>Курсовая работа</i>	<i>Экзамен</i>
<i>Технологическое оборудование...</i>	36	72	+	+
<i>Технология хлеба</i>	36	36	+	+

Литература

Основная:

1. Плаксин Ю.М., Малахов И.Н., Ларин В.А. Процесс и аппараты пищевых производств. М.: КолосС, 2008.
2. Кавецкий Г.Д., Касьяненко В.П. Процессы и аппараты пищевой технологии. М.: Колос, 2008.
3. Аминов М.С., Мурадов М.С., Аминова Э.М. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Колос, 2000.

Дополнительная:

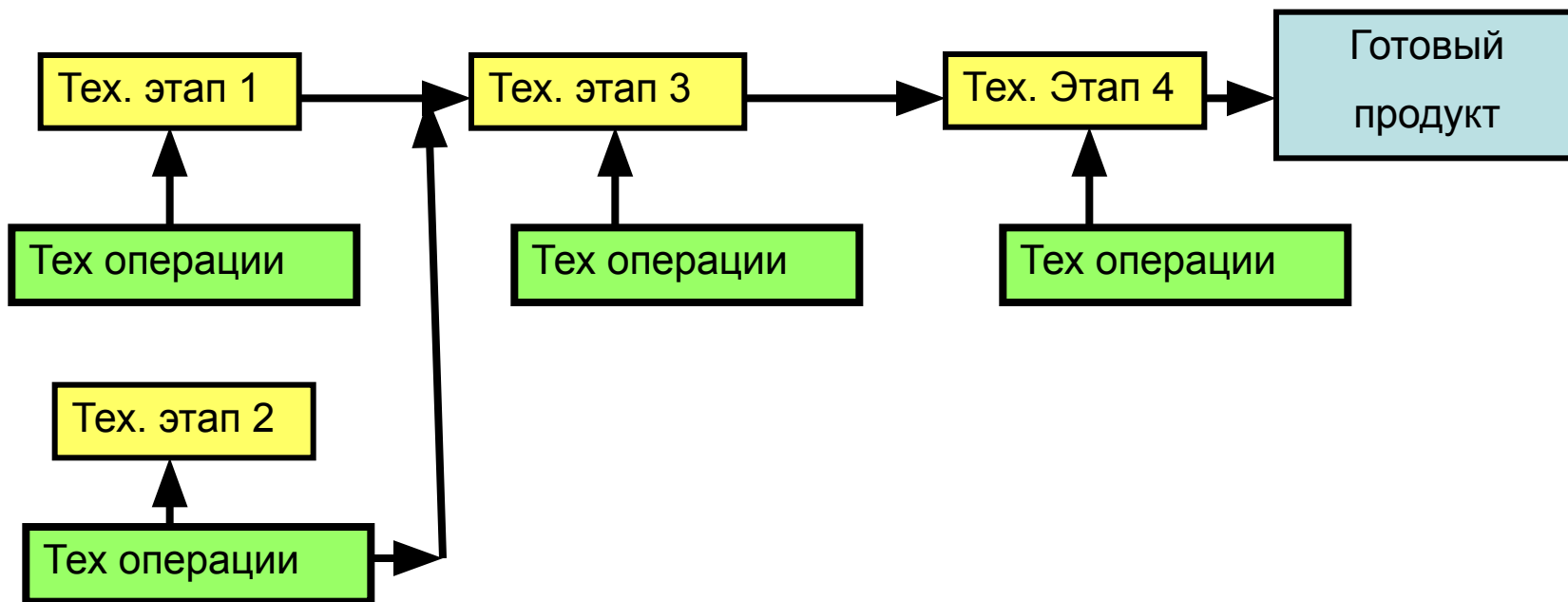
1. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии. М.: Колос, 2000.
2. Горбатюк В.И. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Колос, 1999.
3. Антипов С.Т., и др. Машины и аппараты пищевых производств. М.: Высшая школа, 2001.
4. Процессы и аппараты химической технологии. Механические и гидромеханические процессы, т. 2/Д.А. Баранов, В.Н. Блиничев, А.В. Вязьмин и др. – М.: Логас. -2002.
5. Антипов С.Т., Добромиров В.Е., Кретов И.Т. и др. Введение в специальность»Машины и аппараты пищевых производств. –М.: КолосС, 2008.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ



Технологический процесс

Технологический процесс



Типы технологических процессов

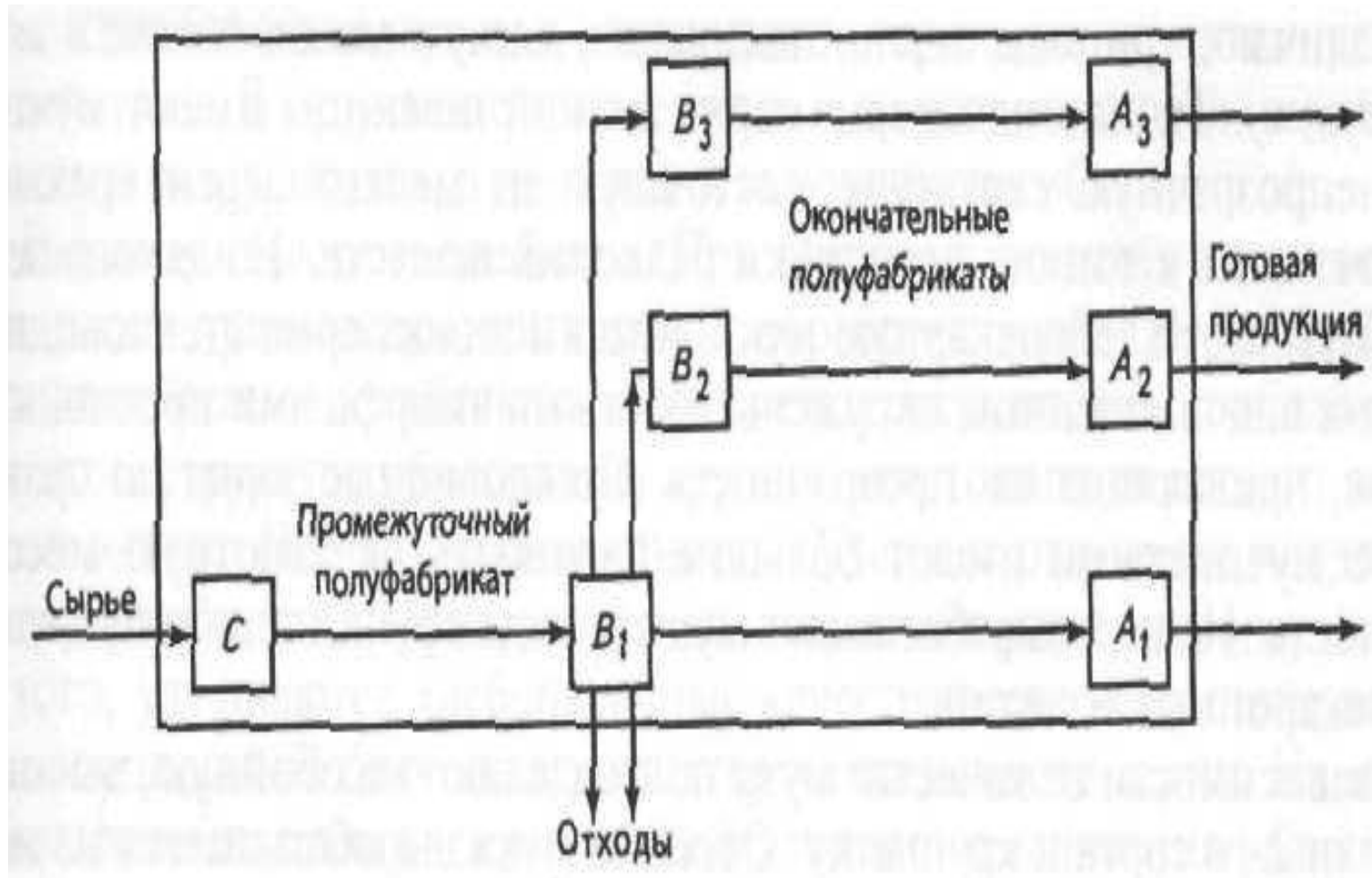


Рис.1.1. Структурная схема линий по производству пищевых продуктов путем разборки исходного сырья на компоненты.

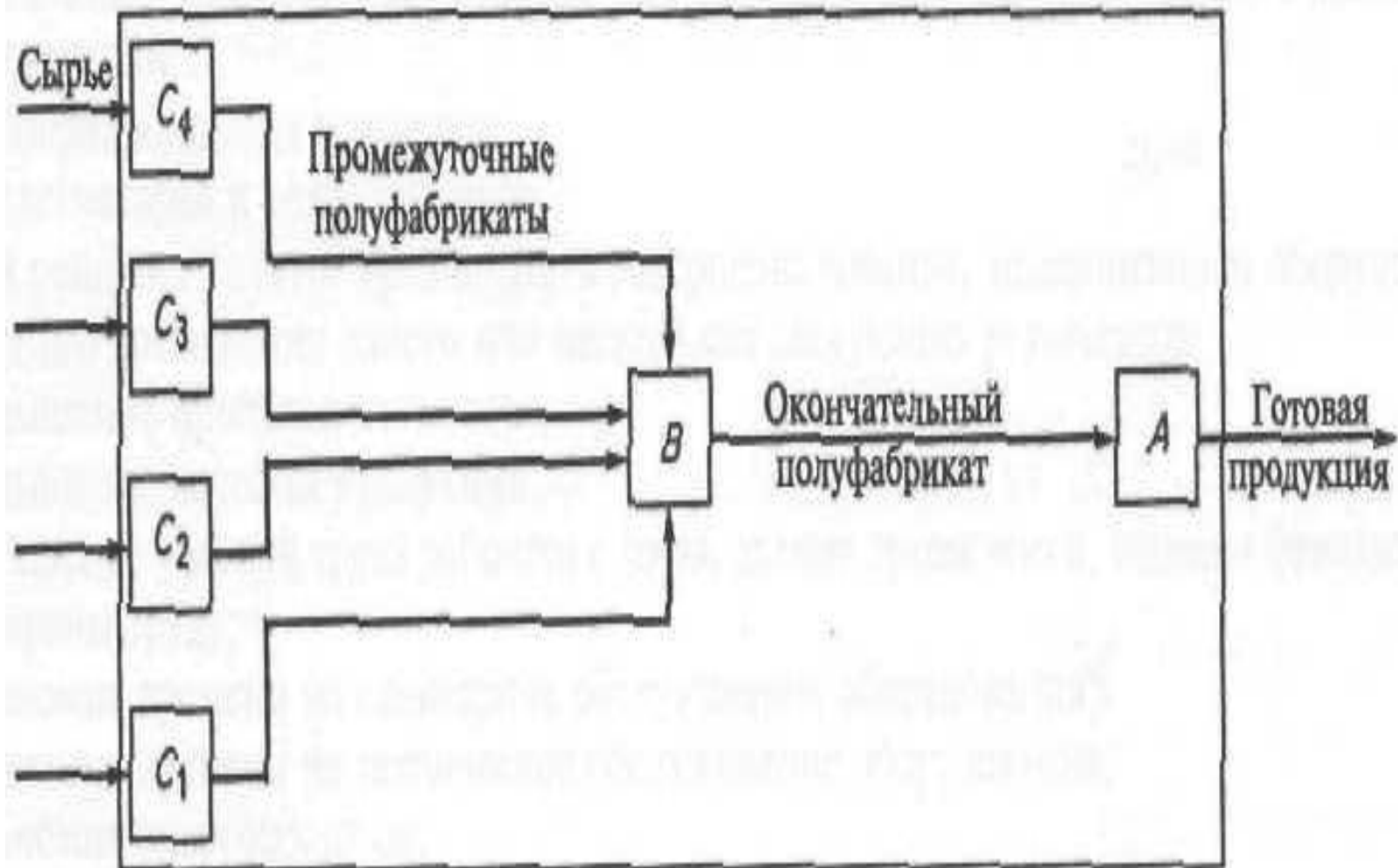


Рис.1.2. Структурная схема линий по производству пищевых продуктов путем разборки исходного сырья на компоненты.

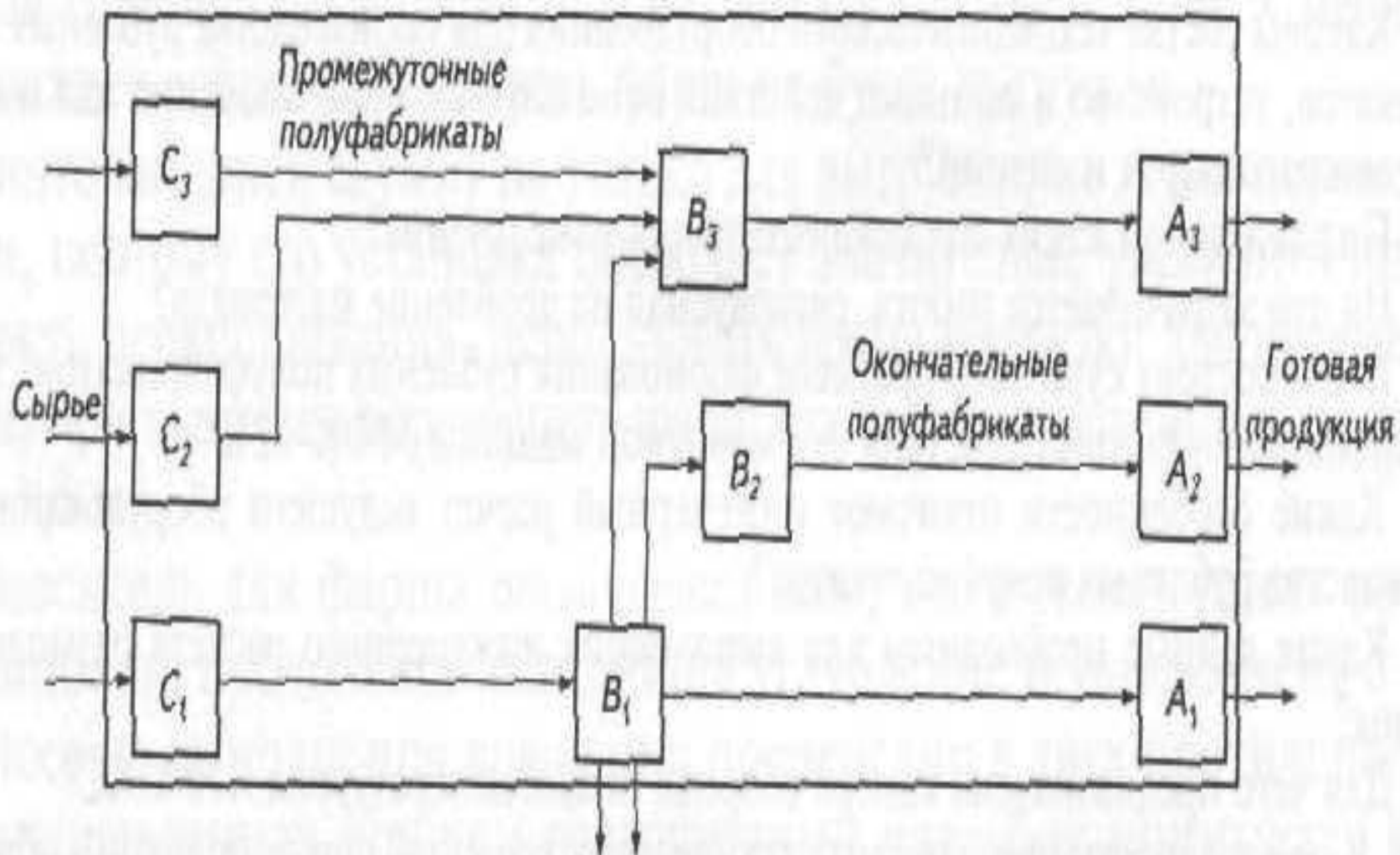


Рис.1.3. Структурная схема линий по производству пищевых продуктов путем комбинированной переработки компонентов исходного сырья.

Физическая плотность: $\rho_{\phi} = M / V, (\text{кг} / \text{м}^3);$

где M – масса тела, кг;

V – объем тела, м^3 .

Удельный объем: $V_{уд} = 1 / \rho = V / M, (\text{м}^3 / \text{кг});$

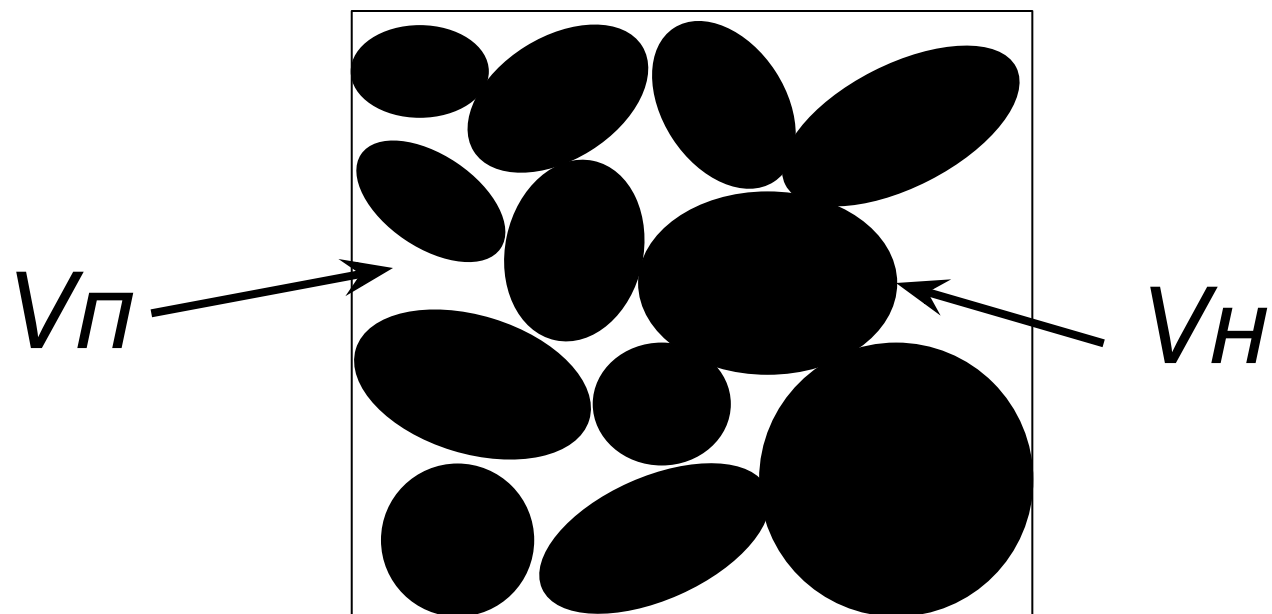
Насыпная плотность: $\rho_H = (1 - \varepsilon) \cdot \rho_{\phi}, (\text{кг} / \text{м}^3);$

где ε – порозность (пористость) сыпучего материала;

ρ_{ϕ} – физическая плотность частиц материала, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$\varepsilon = \frac{V_n}{V_n}; \quad V_n - \text{объем пустот свободно насыпанного материала, } \text{м}^3;$$
$$V_n - \text{объем свободно насыпанного материала, } \text{м}^3;$$

Относительная плотность: $\rho_{отн} = \frac{\rho_i}{\rho_{\phi}};$



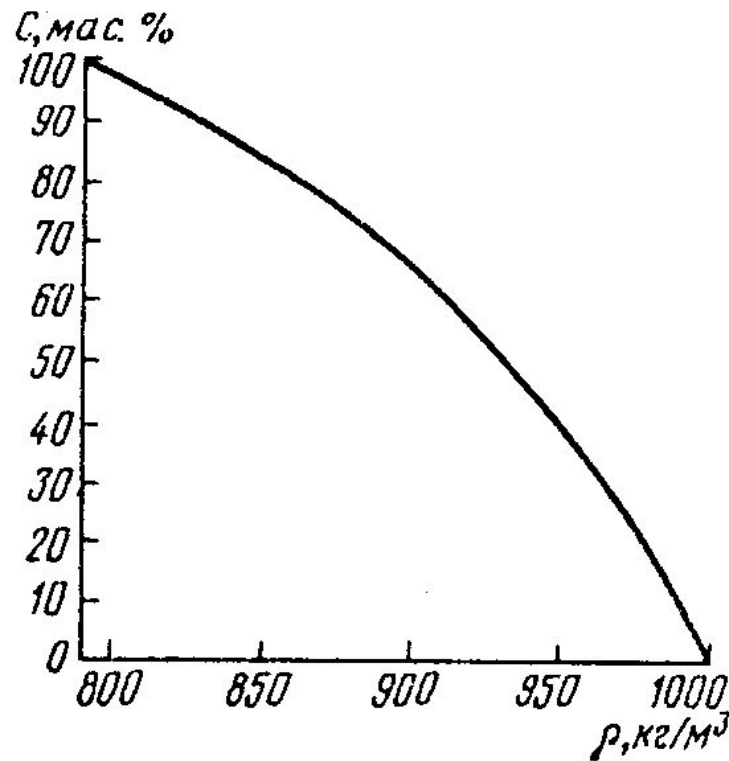


График зависимости плотности водно-спиртового раствора ρ от его концентрации C .

Удельный вес:
$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V} = \rho_{\phi} \cdot g, (H / m^3);$$

где g – ускорение свободного падения, м/с² ($g = 9,81$ м/с²).

Динамическая вязкость:

$$\mu = \frac{P}{F} \cdot \left(\frac{dl}{dv} \right); \text{Па} \cdot \text{с}$$

где P – сила, возникающая между движущимися слоями, Н;
 F – площадь приложения силы;
 dl – изменение расстояние между слоями, м;
 dv – скорость сдвига, м/с

Кинематическая вязкость:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, (\text{м}^2 / \text{с});$$

где μ – динамическая вязкость (коэффициент динамической вязкости), Па·с;
 ρ – плотность среды, кг/м³.

Закон внутреннего трения Ньютона:

$$\tau = \mu \cdot \left(\frac{dv}{dl} \right), \text{Па};$$

где τ – напряжение сдвига, Па;

$\frac{dv}{dl}$ – градиент скорости, кг/м³.

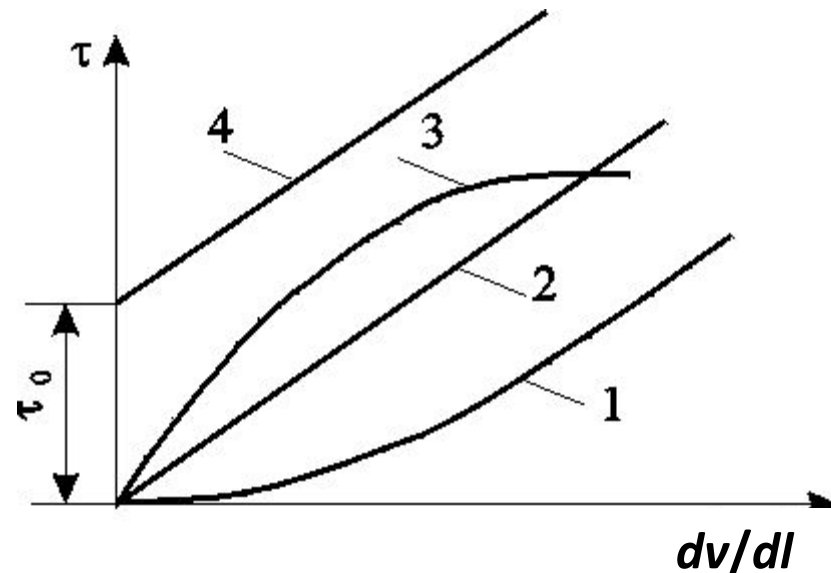


График кривых течения

1 – концентрированная суспензия;
2 – чистая вода (ньютоновская жидкость);

3 – псевдопластичная жидкость;

4 – бингамовская жидкость

Удельная теплоемкость зерна: $c = 1550 + 26,4w, (\text{Дж} / \text{кг} \cdot \text{K});$
где w – влажность зерна, %.

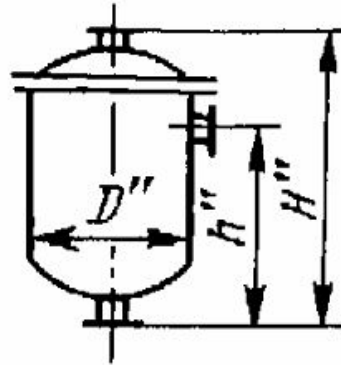
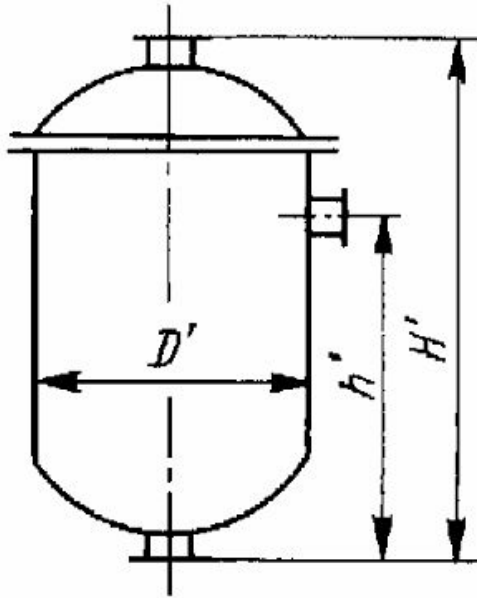
Удельная теплопроводность жидкости при температуре t :

$$\lambda_t = \lambda_{30} [1 - \varepsilon \cdot (t - 30)], \text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{K})$$

где ε – температурный коэффициент; $^{\circ}\text{C}^{-1}$

Температуропроводность : $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, (\text{м}^2 / \text{с});$

Теория подобия



Геометрическое подобие

$$\frac{H'}{H''} = \frac{h'}{h''} = \frac{D'}{D''} = \dots = \text{const} = k_l$$

Временное подобие

$$\frac{\tau_1'}{\tau_1''} = \frac{\tau_2'}{\tau_2''} = \dots = \text{const} = k_\tau$$

Подобие физических величин

$$\frac{\rho_1'}{\rho_1''} = \frac{\rho_2'}{\rho_2''} = \dots = \text{const} = k_\rho$$

Некоторые критерии подобия

Критерий	Формула	Физический смысл
Критерий Рейнольдса (критерий режима течения жидкости)	$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = \frac{Pe}{Pr}$	Характеризует режим течения жидкости
Критерий Галилея (критерий подобия силовых полей при свободном падении)	$Ga = \frac{g \cdot l^2}{\mu} = \frac{Re^2}{Fr}$	Отношения сил вязкостного трения и тяжести в потоке
Критерий Фруда (критерий подобия сил инерции и тяжести)	$Fr = \frac{w^2}{g \cdot l} = \frac{Re^2}{Ga}$	Мера отношения сил инерции к тяжести.
Критерий Пекле (подобие молекулярного и конвективного теплопереноса)	$Pe = \frac{v \cdot l}{a} = Re \cdot Pr$	Мера отношения молекулярного и конвективного теплообмена
Критерий Прандтля (тепловой критерий физических свойств среды)	$Pr = \frac{\nu}{a}$	Отношение способности среды передавать движение трением и передавать теплоту.

Дробление

Степень измельчения: $i = \frac{d_n}{d_k}$

d_n - средний размер куска материала до измельчения

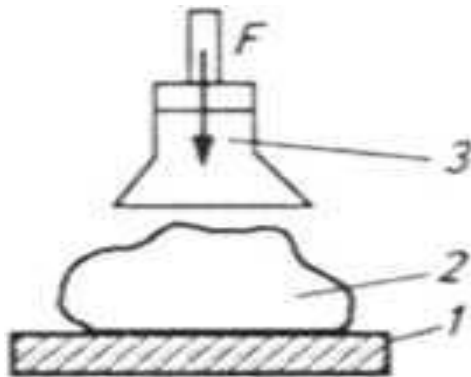
d_k - средний размер куска материала после измельчения

Виды измельчения

	Вид измельчения	d_n , мм	d_k , мм
1.	крупное	1500...2000	250...25
2.	среднее	200...25	25...5
3.	мелкое	25...5	5...1
4.	тонкое	5...1	1...0,075
5.	коллоидное	0,2...0,1	До 1×10^{-4}

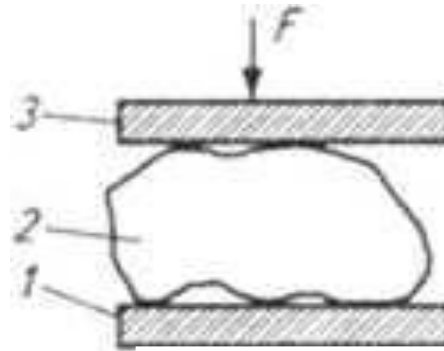
Виды дробления

1. Дробление ударом



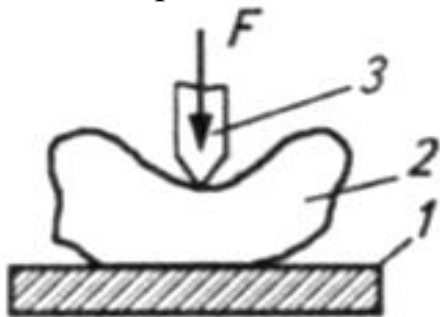
1- опорная плита;
2- материал;
3 - ударный инструмент

2. Дробление раздавливанием



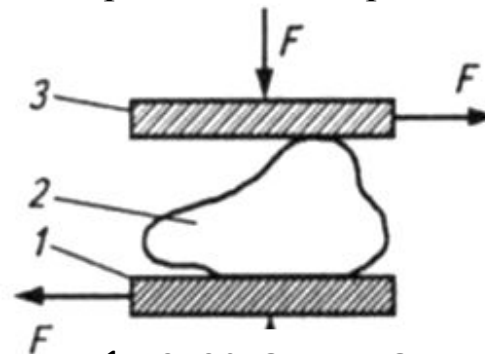
1 - опорная плита;
2 - материал;
3 –нажимная плита.

3. Дробление раскалыванием



1 – опорная плита;
2 – материал;
3 – клинообразный рабочий орган.

4. Дробление истиранием



1 – опорная плита;
2 – материал;
3 – нажимная
плита.

Расход энергии на дробление

Теории дробления

1. **Поверхностная теория** - при измельчении работа расходуется на преодоление сил молекулярного притяжения по поверхностям разрушения материала.

2. **Объемная теория** исходит из того, что при измельчении работа расходуется на деформации материала и пропорциональна уменьшению объема кусков материала перед их разрушением.

Уравнением Ребиндера $A = A_D + A_{\Pi} + A_{И} = k_1 \cdot \Delta V + k_2 \cdot \Delta F + A_{И}$

A_D - работа, затрачиваемая на деформацию объема разрушаемого куска, Дж;

A_{Π} - работа, затрачиваемая на образование новой поверхности, Дж;

$A_{И}$ - работа, затрачиваемая на износ и деформацию рабочих органов аппарата и образование тепла, Дж;

k_1 - коэффициент пропорциональности, равный работе деформирования единицы объема тела;

ΔV - изменение объема разрушаемого тела, м³;

k_2 - коэффициент пропорциональности, равный работе, затрачиваемой на образование единицы новой поверхности;

ΔF - приращение вновь образованной поверхности.

Работа деформации при сжатии:

$$A_{\text{Д}} = \frac{\sigma^2 \cdot \Delta V}{2E}$$

σ - разрушающее напряжение сжатия, Па;

ΔV - уменьшение объема кусков материала в результате их деформации перед разрушением, м³;

E - модуль упругости материала, Па.

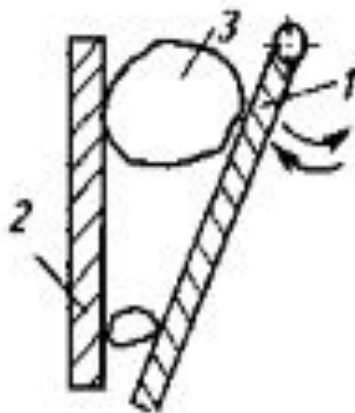
При грубом дроблении :

$$A = A_{\text{Д}} = \frac{\sigma^2 \cdot \Delta V}{2E}$$

При большой степени измельчения :

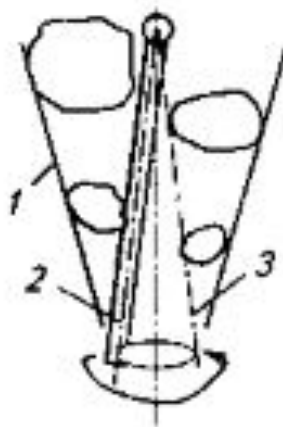
$$A = A_{\text{П}} = k_2 \cdot \Delta F$$

Схемы дробилок



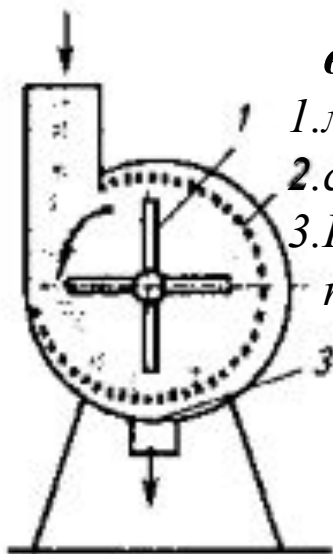
а) Щековая дробилка:

- 1. Подвижная щека;
- 2. Неподвижная щека;
- 3. Измельчаемое сырье.



б) Конусная (гирационная) дробилка:

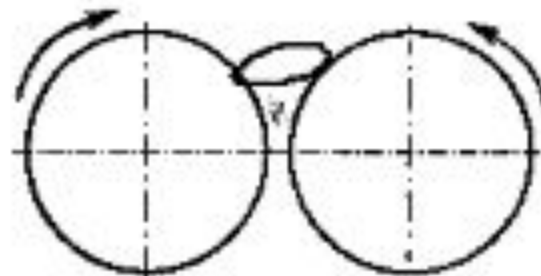
- 1. Подвижная дека;
- 2. Неподвижная дека;
- 3. Измельчаемое сырье.

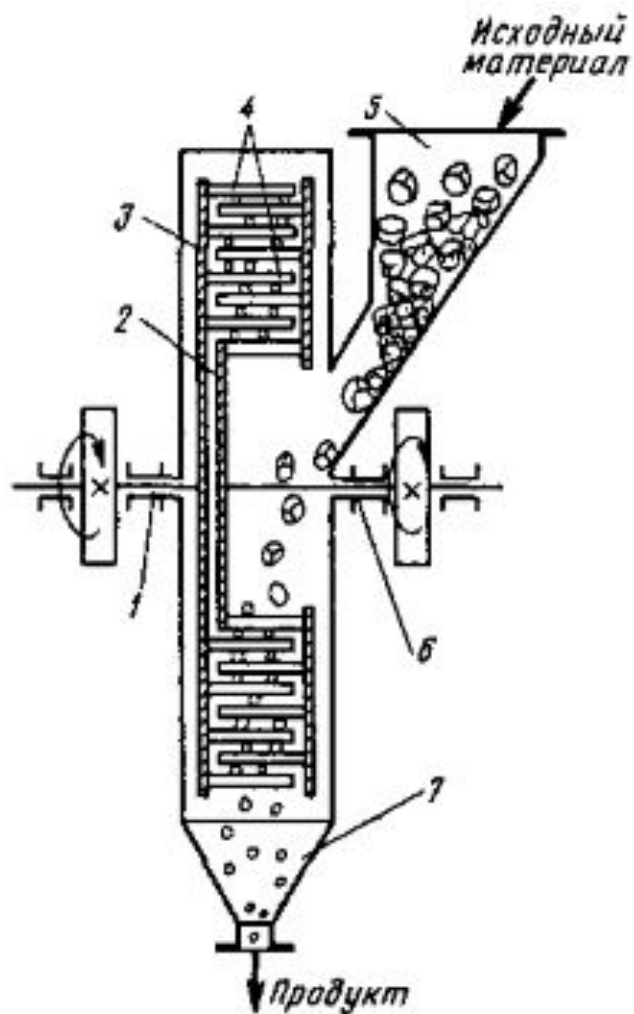


в) Молотковая дробилка:

- 1. молоток;
- 2. ситовой пояс;
- 3. Патрубок для готового продукта.

г) Вальцовая дробилка:





Дезинтегратор

1, 6 - валы;

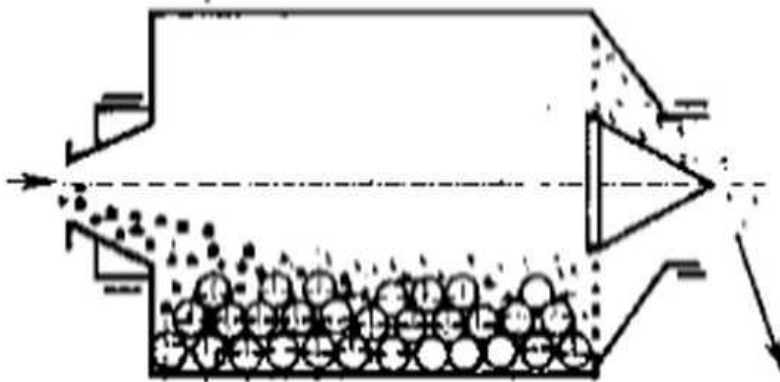
2, 3 - диски;

4 - пальцы била;

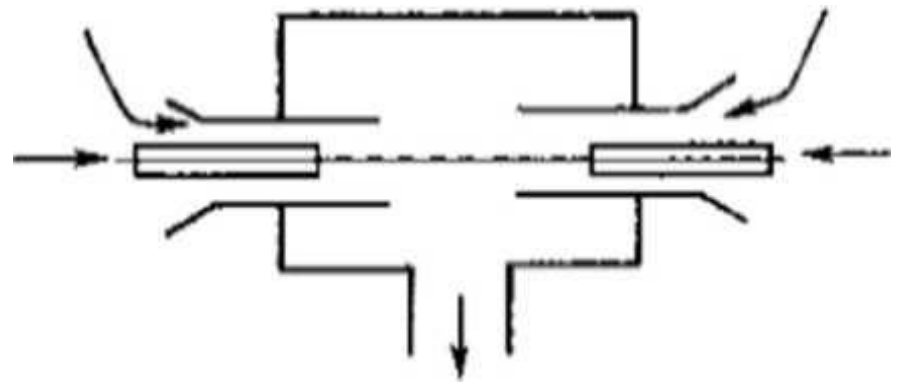
5 - загрузочная воронка

7 - разгрузочная воронка.

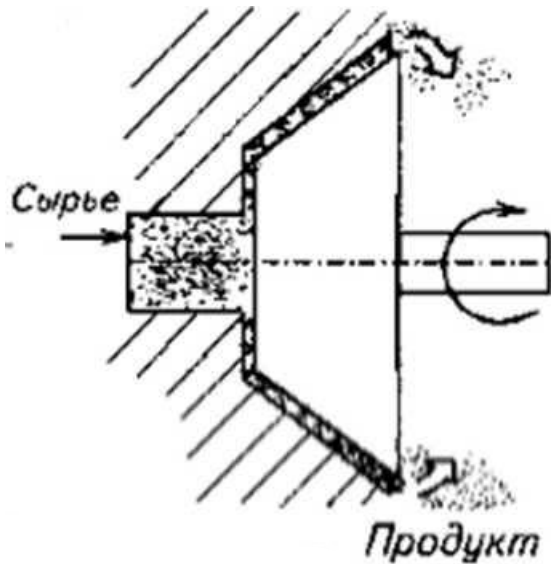
Схемы мельниц



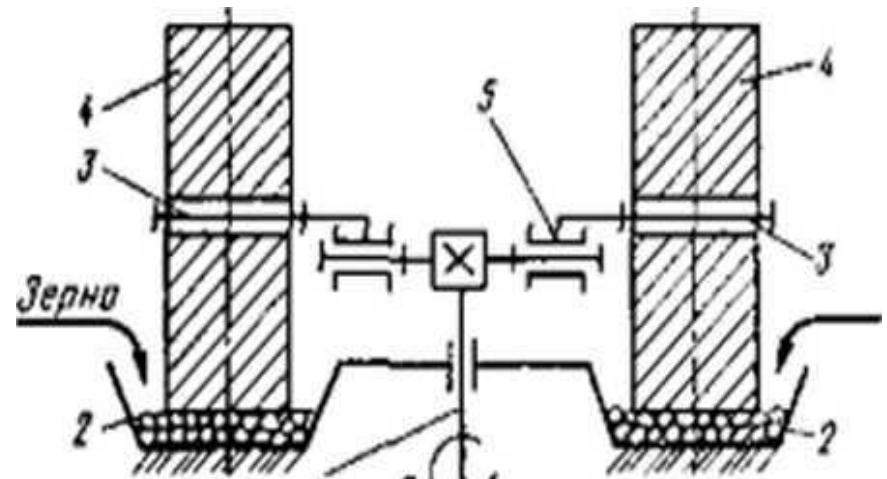
а) шаровая (стержневая) мельница



б) струйная мельница



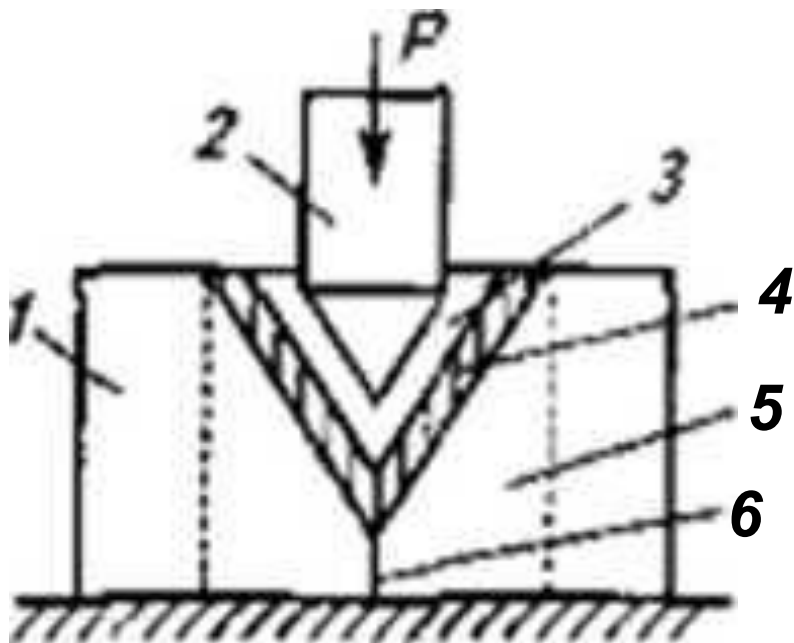
в) коллоидная мельница



1 - вертикальный вал; 2 - чаши; 3 - горизонтальные оси;
4 - жернова (катки); 5 - кривошип.

г) бегуны

Схема зоны резания материала



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

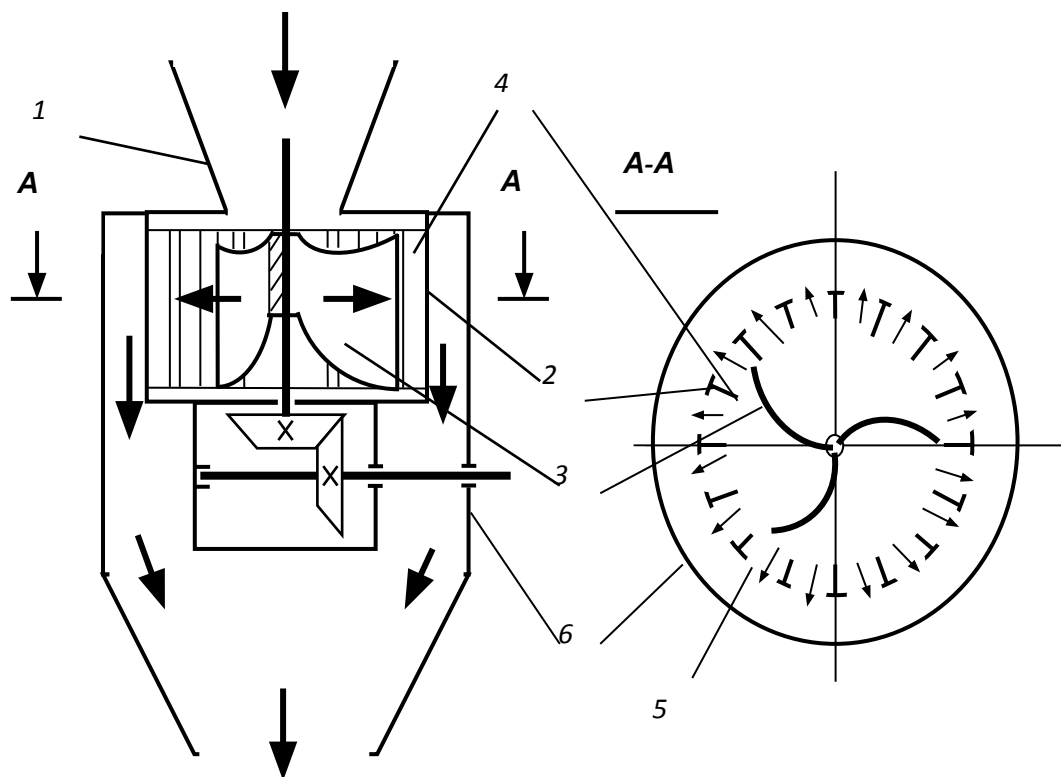


Схема и внешний вид центробежной свеклорезки

Машины для резки пищевого сырья



Центробежная свеклорезка



Колбасный куттер



Ленточная пила для распила
мяса и костей



Волчок

Схема машин для шлифования

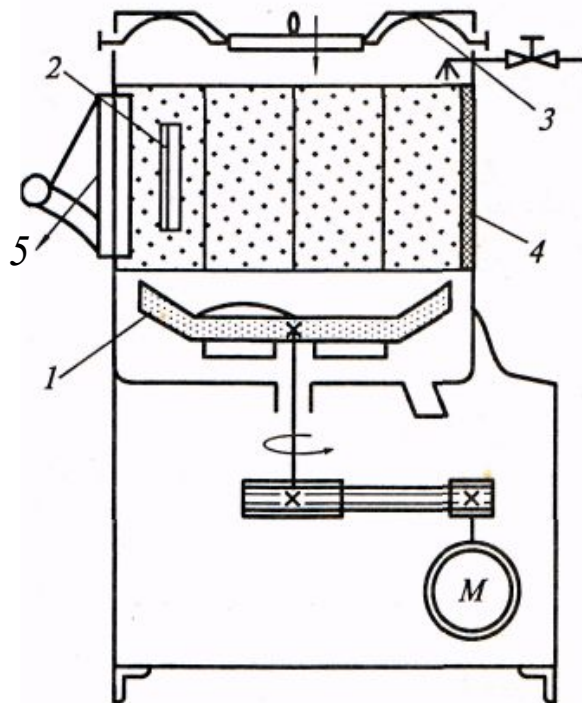


Схема картофелеочистительной машины :

1 - конусный диск; 2 - абразивная вставка;
3 - крышка загрузочного люка; 4 - рабочая камера; 5 - разгрузочный люк.

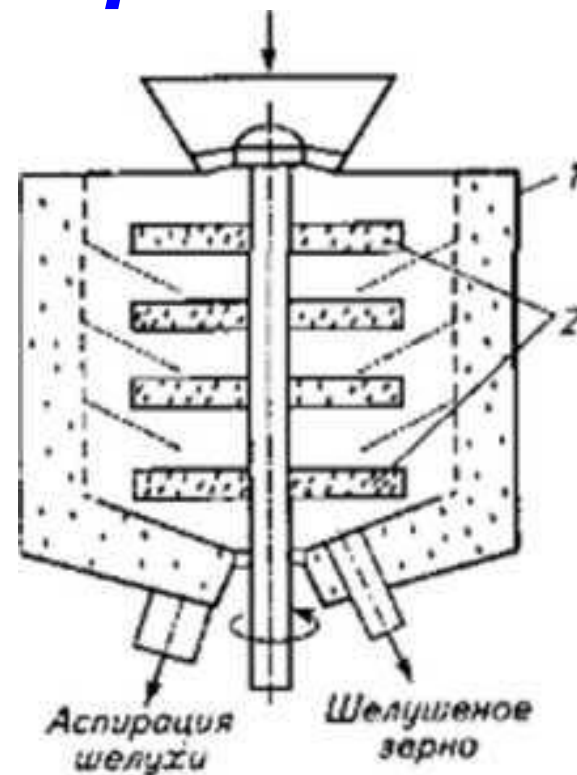


Схема зерношелушителя;

/— корпус;
2— ротор с абразивными кругами

Отжимные прессы

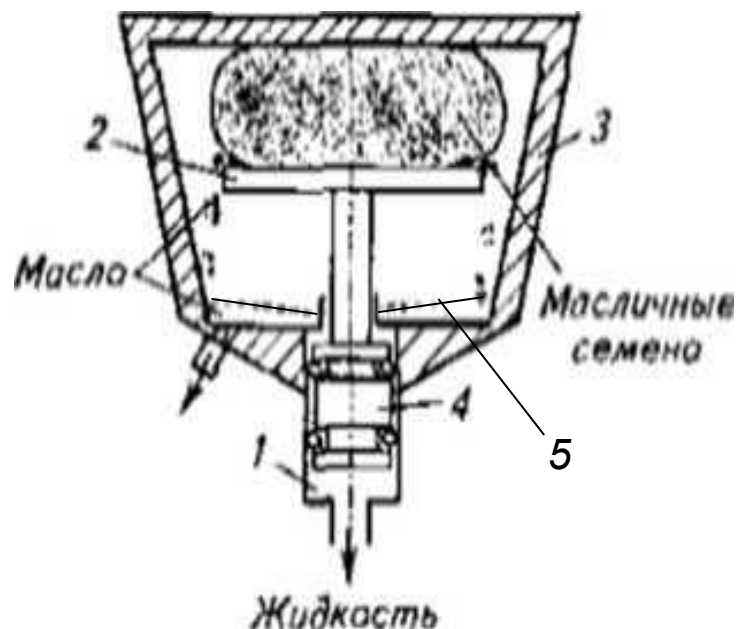


Схема гидравлического прессы.

1 - гидроцилиндр;
2 - подъемный стол;
3 - корпус; 4 – поршень;
5 - сито.

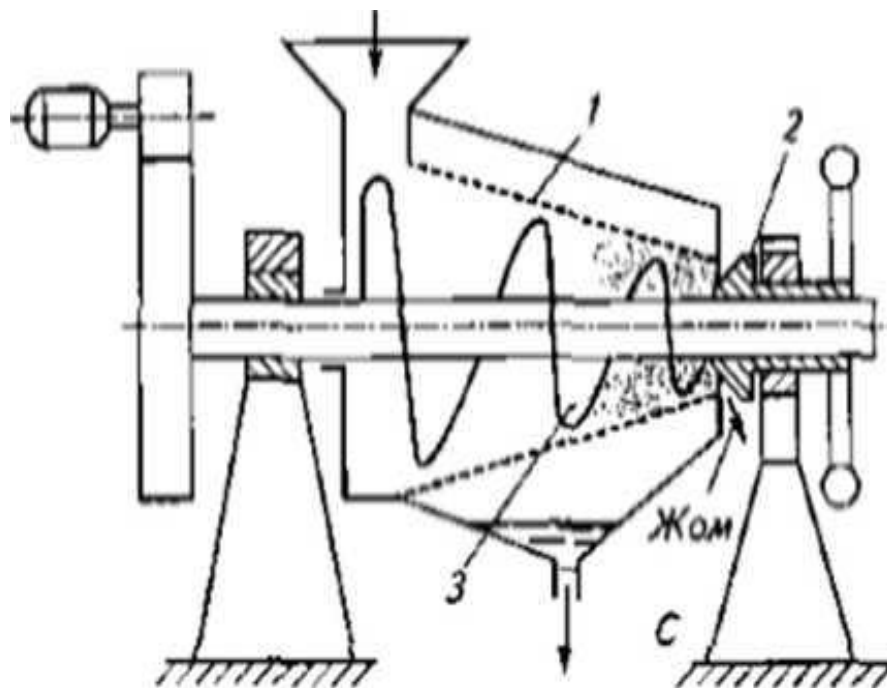


Схема шнекового зернового прессы

1 - зер (перфорированный конус);
2 - регулирующий конус.
3 - шнек

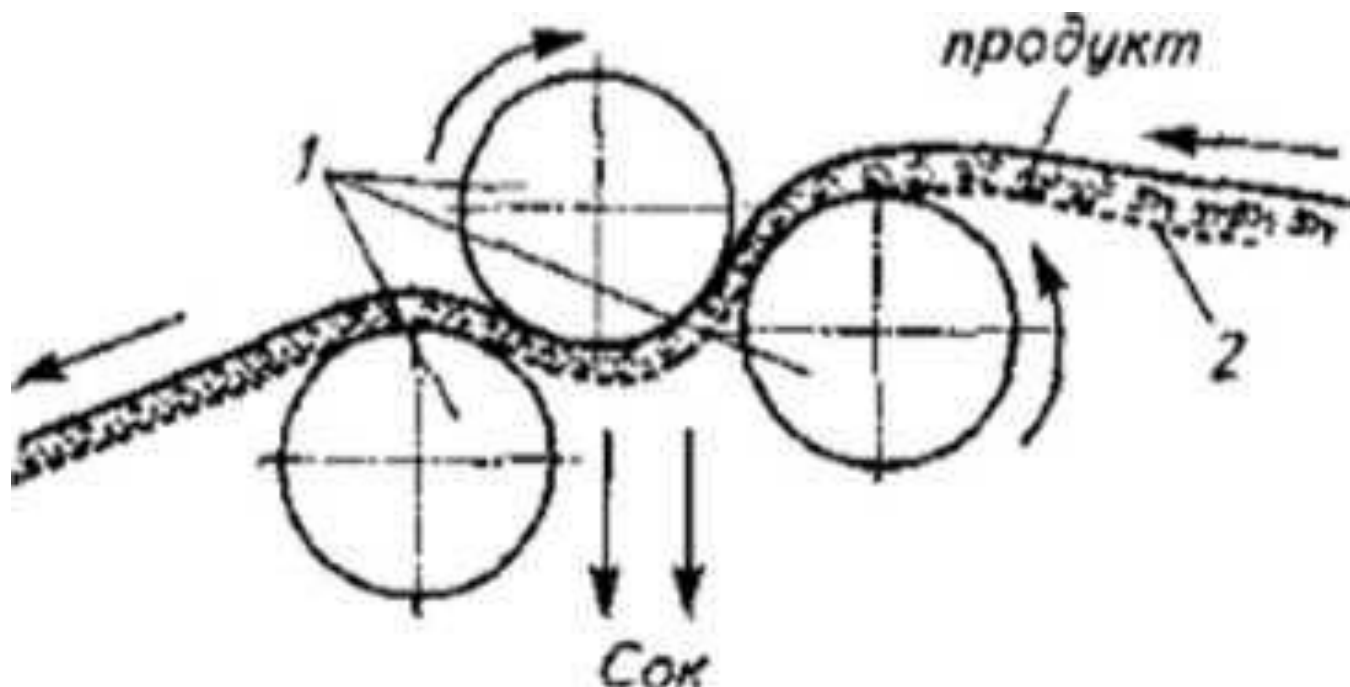


Схема вальцового отжимного пресса:

1 –валки;

2 - перфорированная резиновая лента

Продукция из связанных сыпучих материалов

брикеты - 100...200 мм;



окатыши - 20...40 мм;



таблетки - 12...50 мм.



гранулы и драже - 1...20 мм



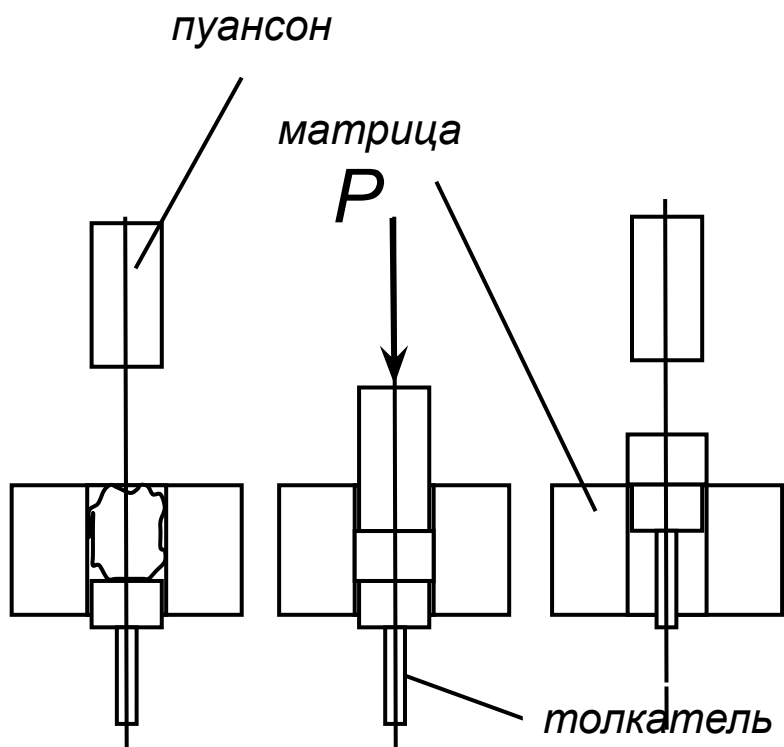


Схема штампования

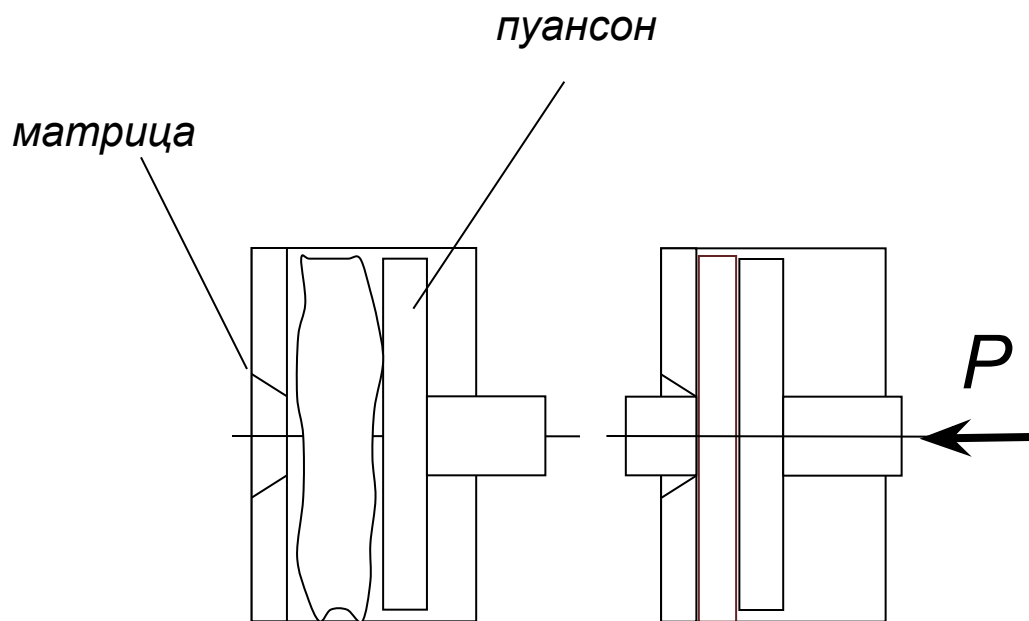


Схема экструдирования

Схема гранулирования во псевдокипящем слое

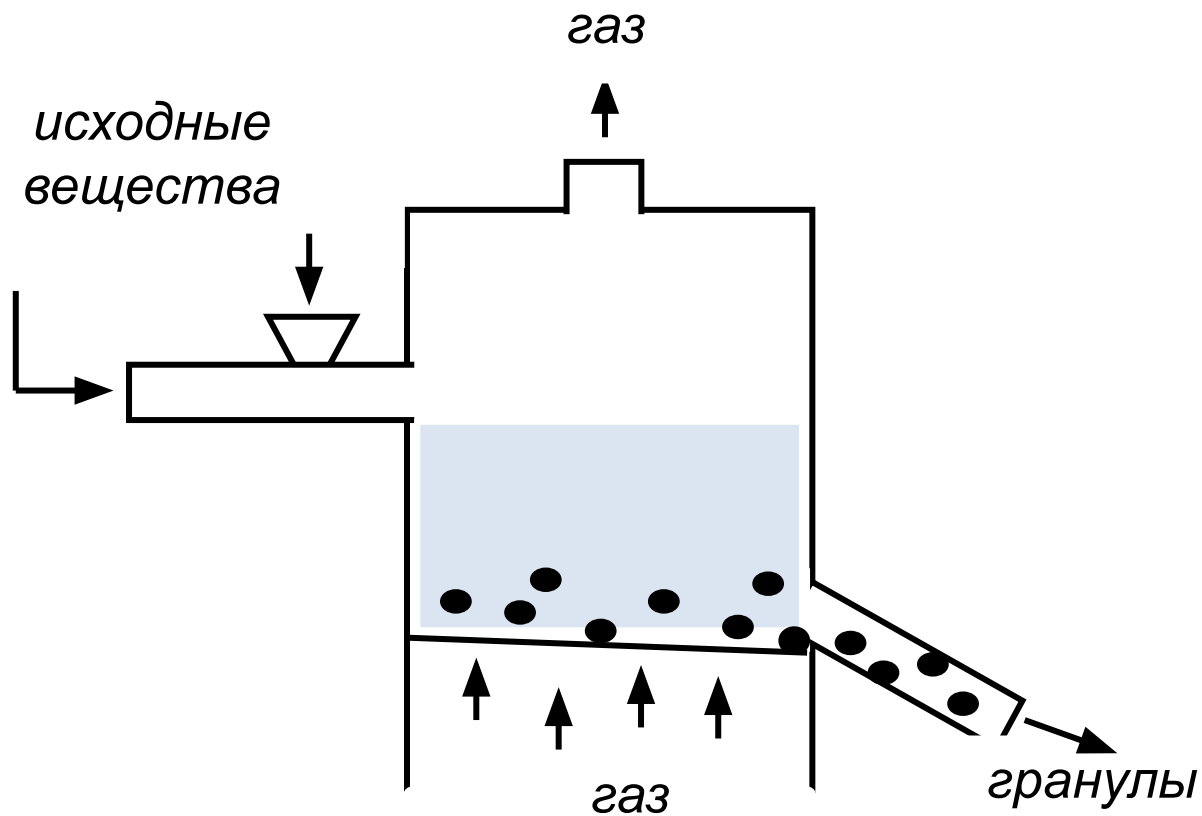
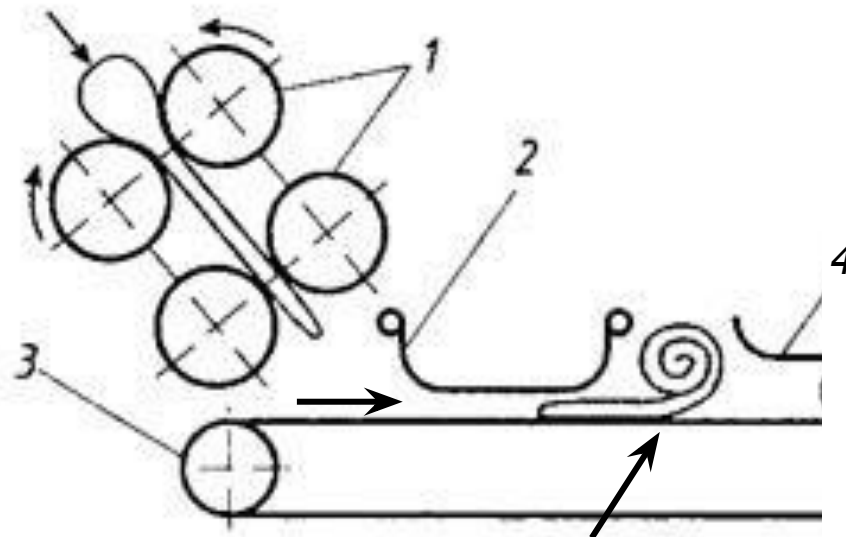


Схема раскатывания и закатывания (тестозакаточная машина)

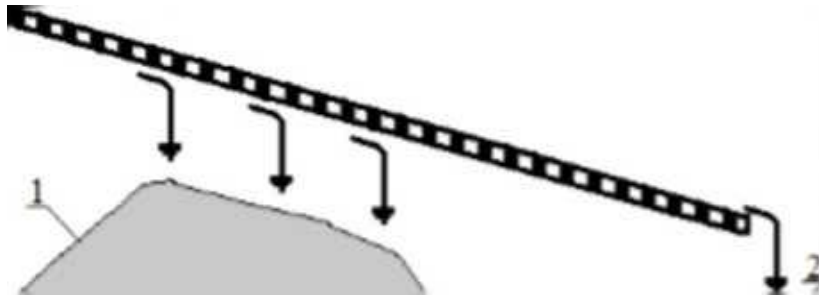
раскатывание



закатывание

- 1 – пары раскаточных валков;*
- 2 – завивающее устройство;*
- 3 – ленточный транспортер;*
- 4 – упор.*

Схема разделения смеси на плоском сите



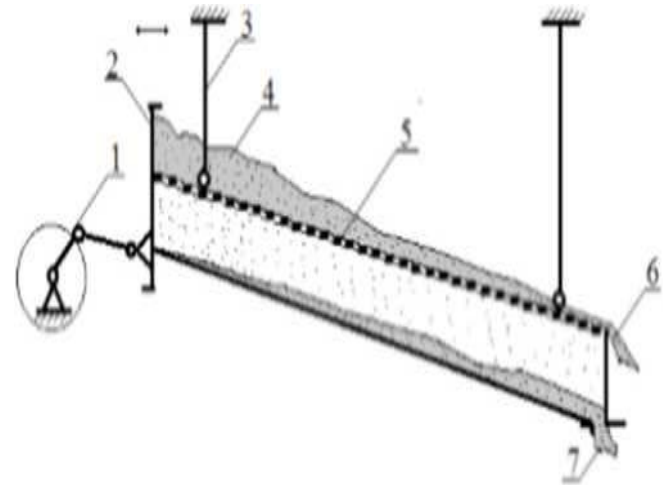
1 - фракция прохода; 2 - фракция схода

Эффективность разделения

$$E = \frac{Q_{н.с.}}{Q_{н.ф.}}$$

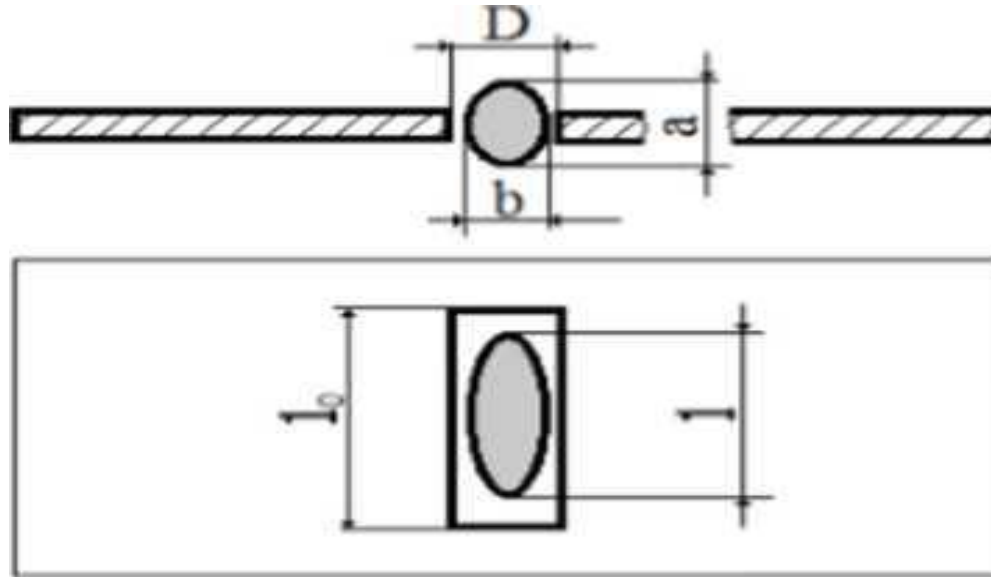
где $Q_{нс}$ - масса продукта в исходной смеси;
 $Q_{пф}$ - масса продукта во фракции прохода или схода.

Схема качающегося сита



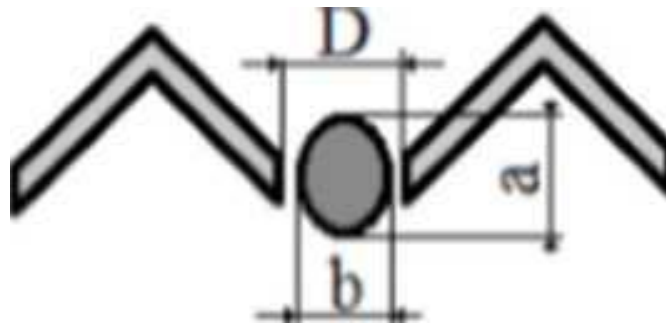
1 - кривошип; 2 качающийся короб;
 3 струны (подвес); 4 - смесь для разделения на фракции; 5- плоское сито; 6 - фракция схода; 7 - фракция прохода

Схема разделения смеси по толщине

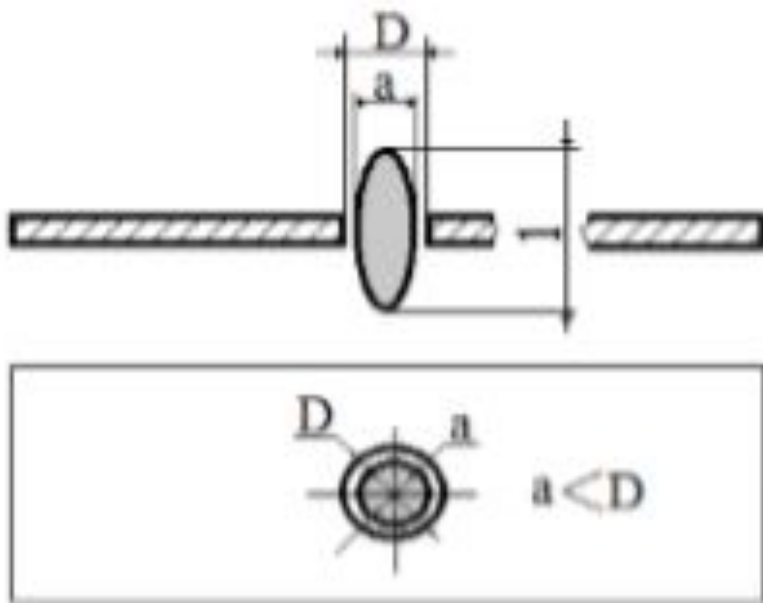


a - ширина частицы; b - толщина частицы;
 l - длина частицы; D - рабочий размер сита;
 l_0 - длина отверстия сита

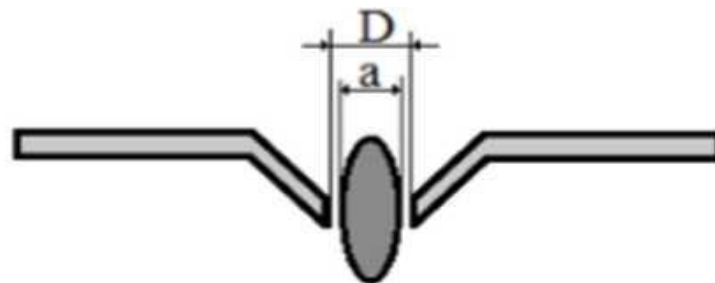
Схема гофрированного сита для разделения смеси по толщине



Разделение смеси по ширине

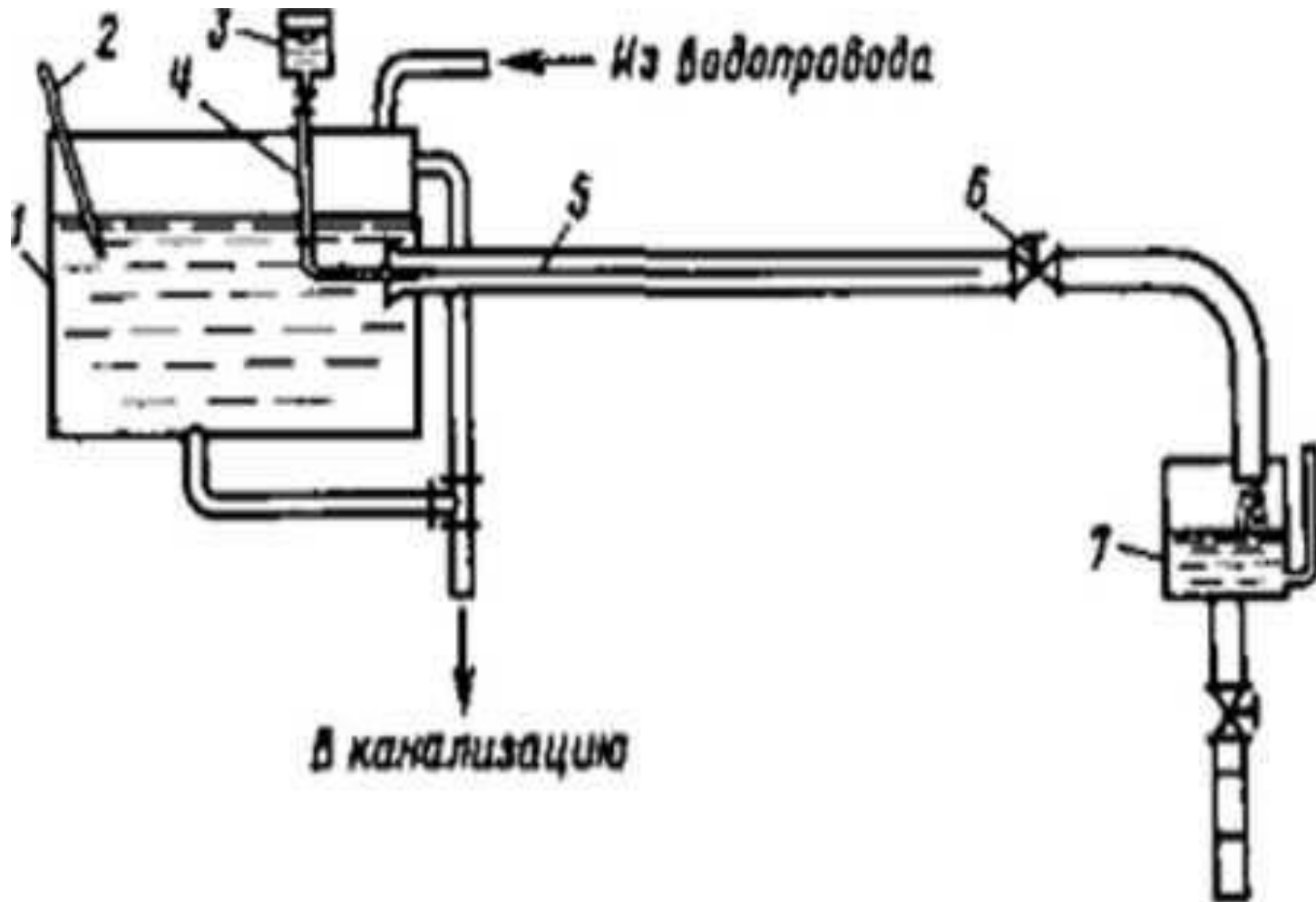


Воронкообразное сито



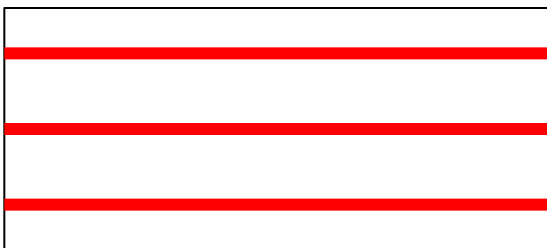
Пример разделения смеси по форме



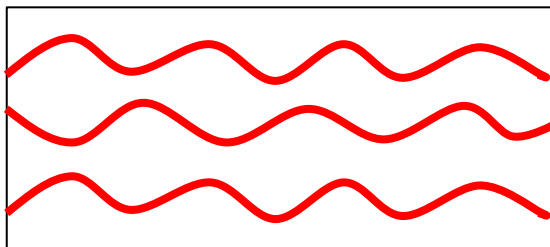


Установка Рейнольдса:

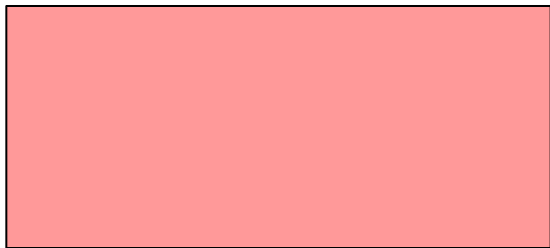
1 – напорный бак; 2 – термометр; 3 – бачок для красящей жидкости;
4 – капиллярная труба; 5 – труба; 6 – кран; 7 – сборник.



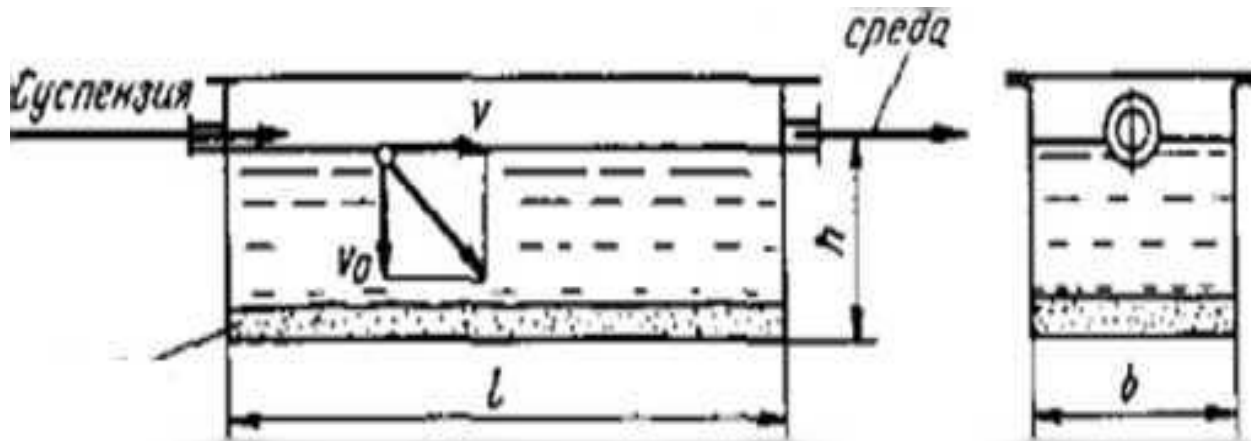
- ламинарный режим



- переходный режим



- турбулентный режим



Удельная производительность отстойника

$$V = l b v_0$$

$$v_0 = \frac{Re \cdot \mu_{жс}}{l \cdot \rho_{жс}};$$

Re – критерий Рейнольдса;

$\mu_{жс}$ – кинематическая вязкость;

l – характеристический размер осаждаемых частиц;

$\rho_{жс}$ – плотность дисперсной среды,

v_0 – скорость отстаивания.

$$F_0 = \frac{V_\tau}{v_0} = \frac{G_\tau}{\rho_n \cdot v_0};$$

где G_τ — производительность отстойника, кг/с;

ρ_n — плотность продукта,

$$G_{\text{ц}} = \frac{m \cdot \omega_r^2}{r};$$

где m — масса частицы,

ω_r — окружная скорость вращения, $\omega_r = \omega \cdot r = 2\pi n r / 60$ м/с;

ω — угловая скорость вращения

r — радиус вращения, м.

n — частота вращения, об/мин

Суспензия

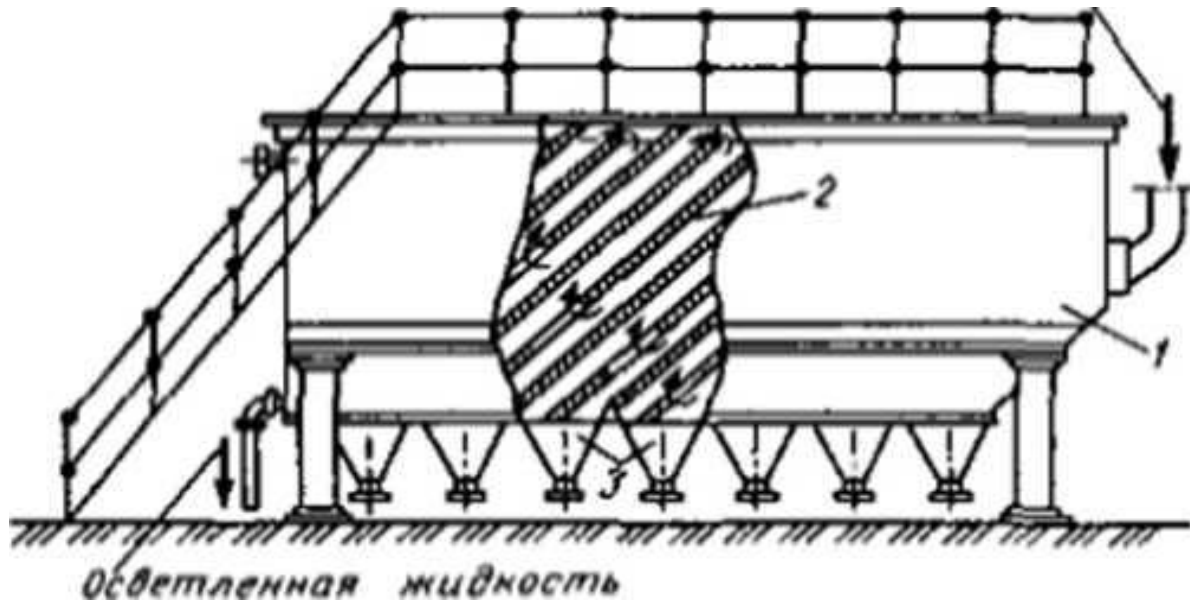
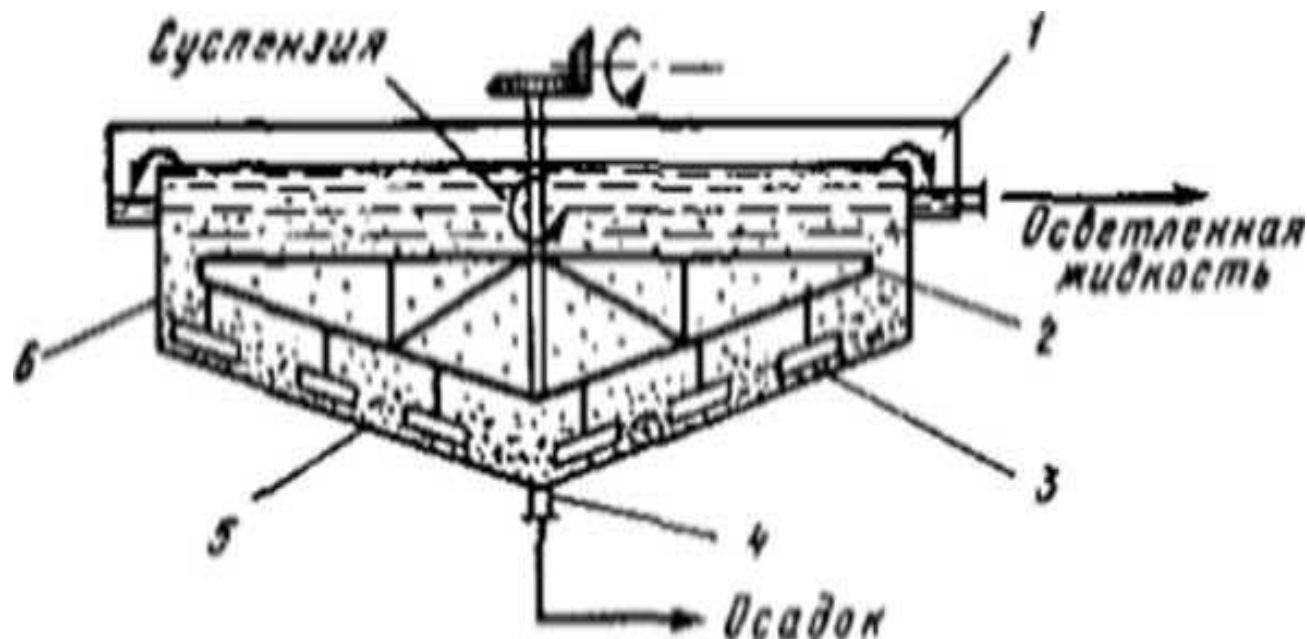


Рис. Отстойник полунепрерывного действия с наклонными перегородками:

1 — корпус. 2 — наклонные перегородки; 3 — бункера



.Отстойник непрерывного действия с гребковой мешалкой:

*1 — кольцевой желоб; 2 — мешалка; 3 — гребок;
4 — разгрузочный люк; 5 — коническое днище;
6 — цилиндрический резервуар.*

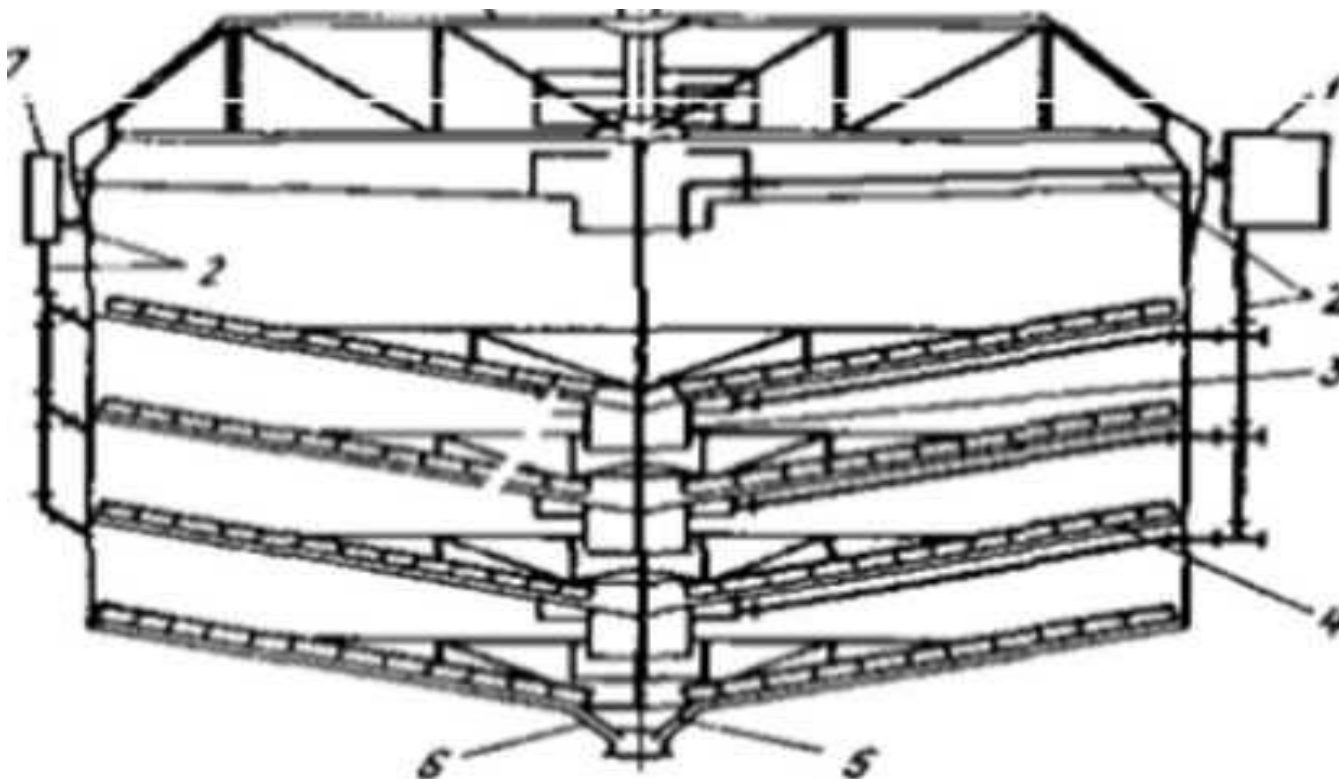
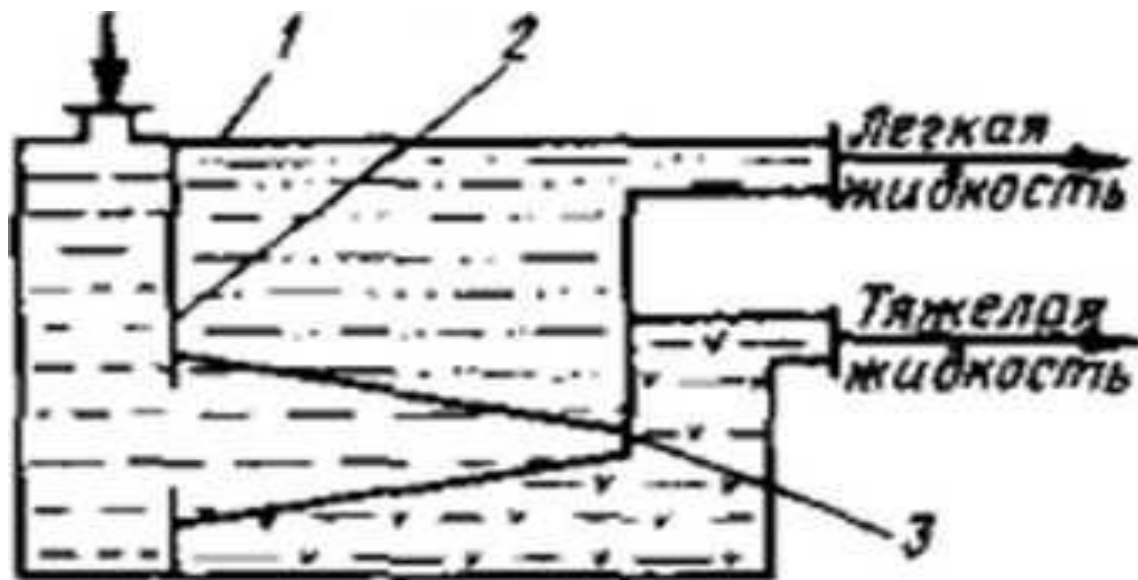


Рис. Многоярусный отстойник:

- 1 — распределительное устройство;*
- 2 — трубы; 3. — стакан; 4 — грибковая мешалка;*
- 5 - разгрузочный конус;*
- 6 — скребки; 7 — коллектор; 8 рама.*



*Рис. Отстойник для непрерывного
разделения эмульсий:*

*1 — корпус; 2 — левая перегородка;
3 — правая перегородка*

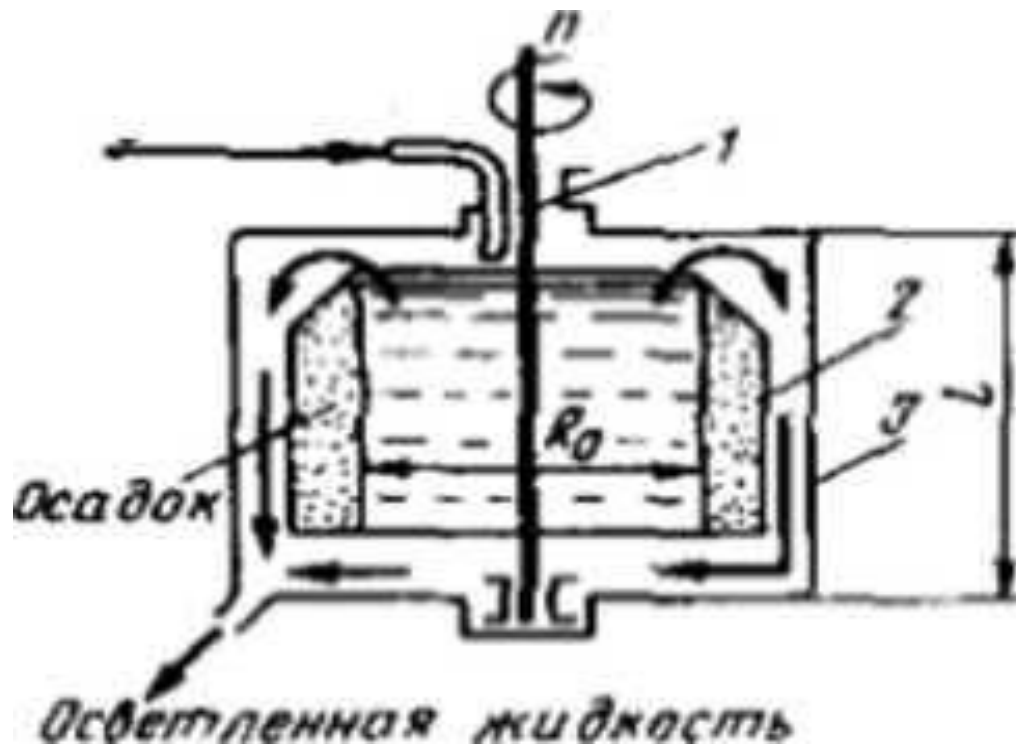


Рис 7. Отстойная центрифуга:

1— вал; 2 —барабан; 3 - корпус

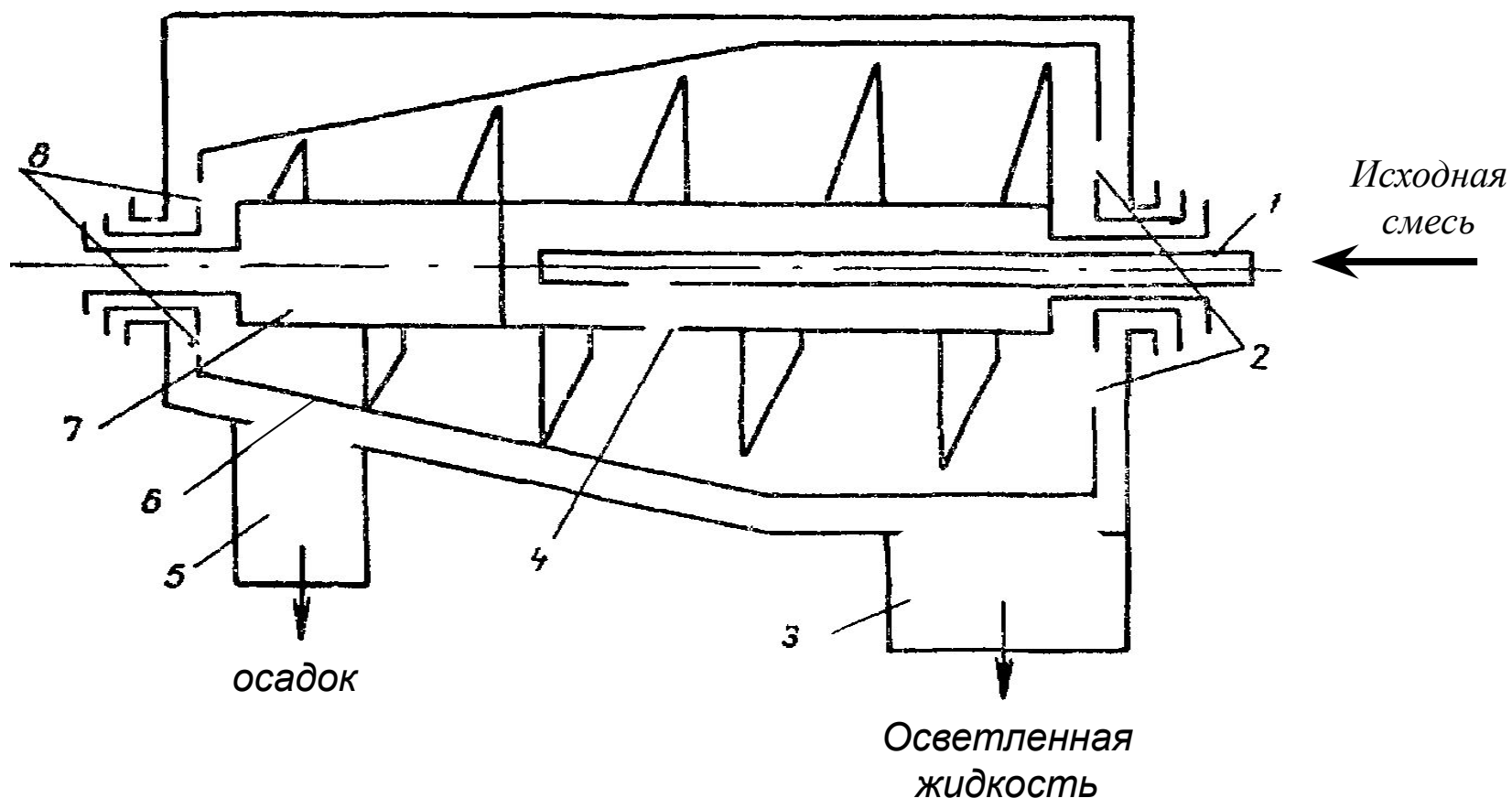
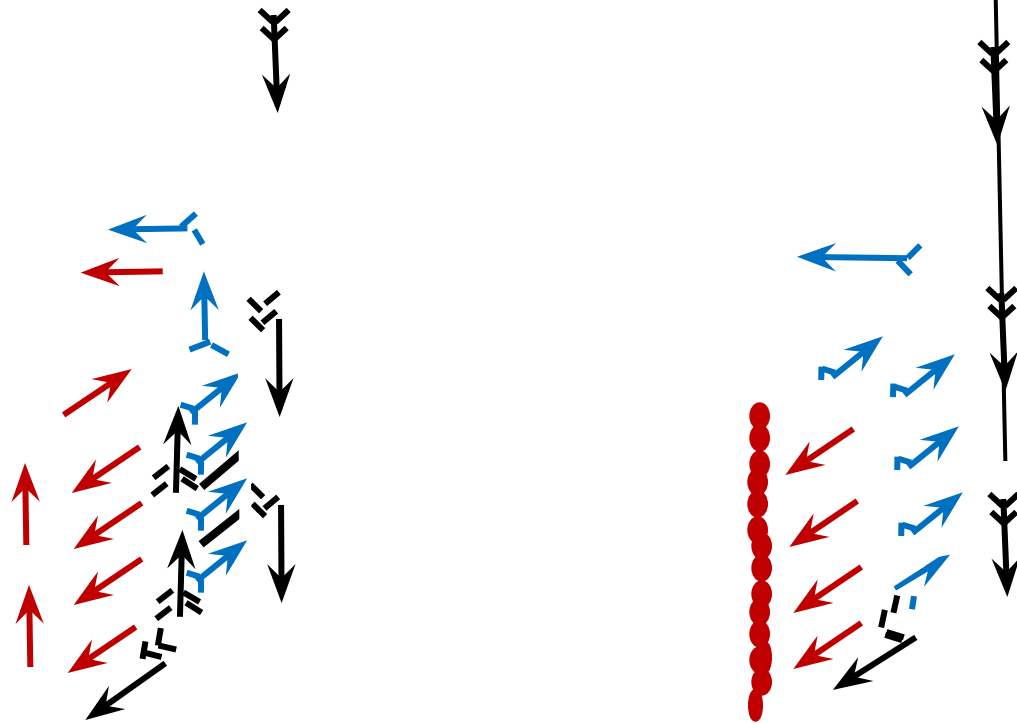


Схема непрерывнодействующей отстойной горизонтальной шнековой центрифуги(НОГШ)

1— труба для подачи исходной смеси; 2 — отверстия для выгрузки осветленной жидкости; 3 — бункер для выгрузки осветленной жидкости; 4—отверстие для поступления исходной смеси в ротор; 5 — бункер для выгрузки осадка; 6—ротор, 7—полый шнек; 8 — отверстия для выгрузки осадка.



- - исходный продукт;
- - тяжелая фракция;;
- - легкая фракция;;
- - осадок

*Внешний вид и схема барбанов
сливкоотделительного (а) и
молокоочистительного (б)
центробежных тарельчатых
сепараторов*



2

3

Схема гидроциклона

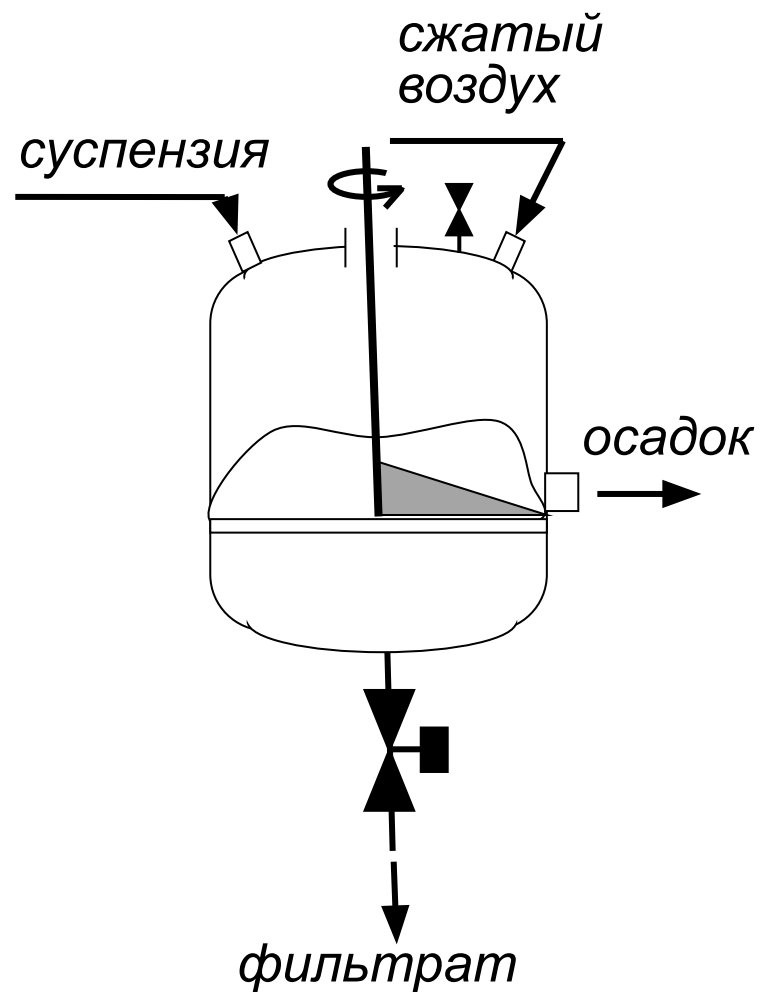
*1 — тангенциальный штуцер; 2 — патрубок; 3 — перегородка;
4 — цилиндрический корпус; 5 — коническое днище; 6 — штуцер
для выхода шлама.*

. Схемы фильтрации:

а) — с образованием осадка:

б) — с закупориванием пор:

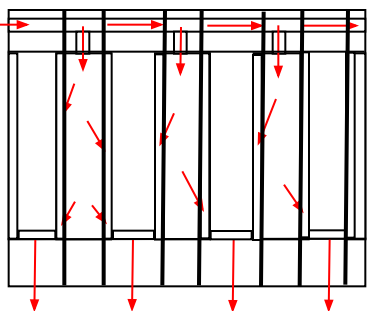
Нутч-фильтр



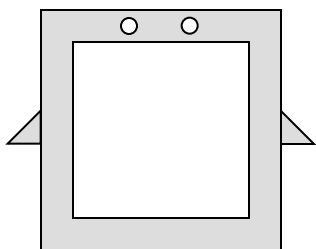
Фильтр-пресс

1 - упорная плита; 2 - рама;
3 - плита; 4 - фильтрующая ткань;
5 - подвижная концевая плита; 6 -
горизонтальная направляющая; 7 -
зажимной винт; 8 - станина; 9 -
желоб для сбора фильтрата или
промывающей жидкости

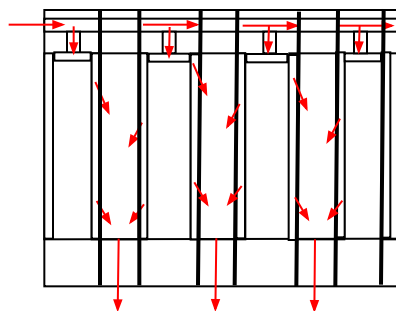
а) фильтрация



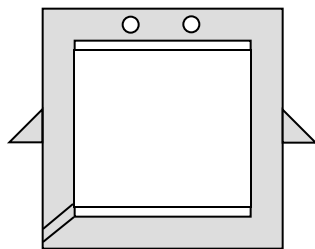
плита



б) регенерация



рама



Барабанный Вакуум-фильтр

1—корпус; 2— барабан;
3— перегородка. 4 —осадок;
5 — трубка; 6 — головка фильтра;
7—форсунки, 8— нож; 9—
мешалка.

Барабанный вакуум-фильтр:

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

- 1) Классическая фильтрация (диаметр пор превышает 10 мкм, а перепад давлений на перегородке не более 0,06 МПа);
- 2) Микрофильтрация (диаметр пор 0,1...10 мкм, перепад давлений 0,06...0,1 МПа);
- 3) Ультрафильтрация (диаметр пор 3...100 нм, перепад давлений 0,1...2,0 МПа);
- 4) Обратный осмос (диаметр пор менее 3 нм. перепад давлений 1...25 МПа).

Селективность

где x_1 и x_2 - концентрации растворенного вещества соответственно в исходном растворе и фильтрате.

Проницаемость

где V - объем фильтрата, л;

F - рабочая площадь поверхности мембраны, м²;

τ - продолжительность процесса, ч.

Движущая сила обратного осмоса

где p – избыточное давление раствора;

π – осмотическое давление растворителя.

Затраты энергии (работа A_m на ультрафильтрацию

где A_c - работа на сжатие жидкости, Дж;

A_{np} - работа на продавливание жидкости через мембрану, Дж.

Массообменные процессы

Участники массообменных процессов:

- распределяющее вещество (или вещества) второй фазы;
- распределяемое вещество
- распределяющее вещество (вещества) первой фазы;

Основным уравнением массопередачи -

где M - количество вещества, перешедшего из одной фазы в другую;

F - площадь поверхности массопередачи;

τ - продолжительность процесса;

K - коэффициент скорости процесса, называемый в теории массопередачи коэффициентом массопередачи;

Δ - движущая сила.

Массообменные процессы пищевых производств:

- абсорбция,
- перегонка и ректификация,
- экстракция,
- сушка,
- адсорбция,
- кристаллизация .

Установка для фракционной перегонки:

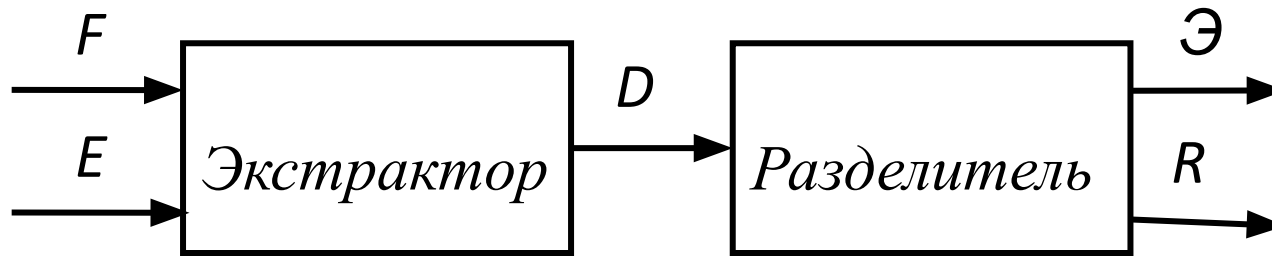
1-куб,

2-конденсатор;

3 – сборник дистиллята.

Ректификационная установка непрерывного действия:

*1-сборники; 2-подогреватель, 3-ректификационная колонна;
4-дефлигматор; 5-разделительный сосуд, 6-холодильник,
7 - насосы. 8 - кипятильник.*



Принципиальная схема экстракции жидкость - жидкость

F – исходный раствор;

E – экстрагент;

D – диффузионный сок;

$\mathcal{E}$ – экстракт;

R - рафинат

Растворители для выщелачивания по системе

жидкость-твердое тело;

вода - для экстрагирования сахара из свеклы, кофе, цикория, чая;

спирт и водно-спиртовую смесь - для получения настоев в ликероводочном и пивобезалкогольном производствах;

бензин, трихлорэтилен., дихлорэтан - в маслоэкстракционном и эфиромасличном производствах и

др.

Скорость процесса в этом случае равна

где M - количество вещества, перешедшего из одной фазы в другую;

F - площадь поверхности массопередачи;

τ - продолжительность процесса;

β_y - коэффициент массоотдачи в жидкой фазе;

$y_{\text{НАС}}$ - концентрация насыщенного раствора;

$y_{\text{СР}}$ - средняя концентрация экстрагируемого вещества в массе экстрагента.

Экстракт Э

Экстракт Э

Исходная
смесь F

Экстрагент E

Рафинад R

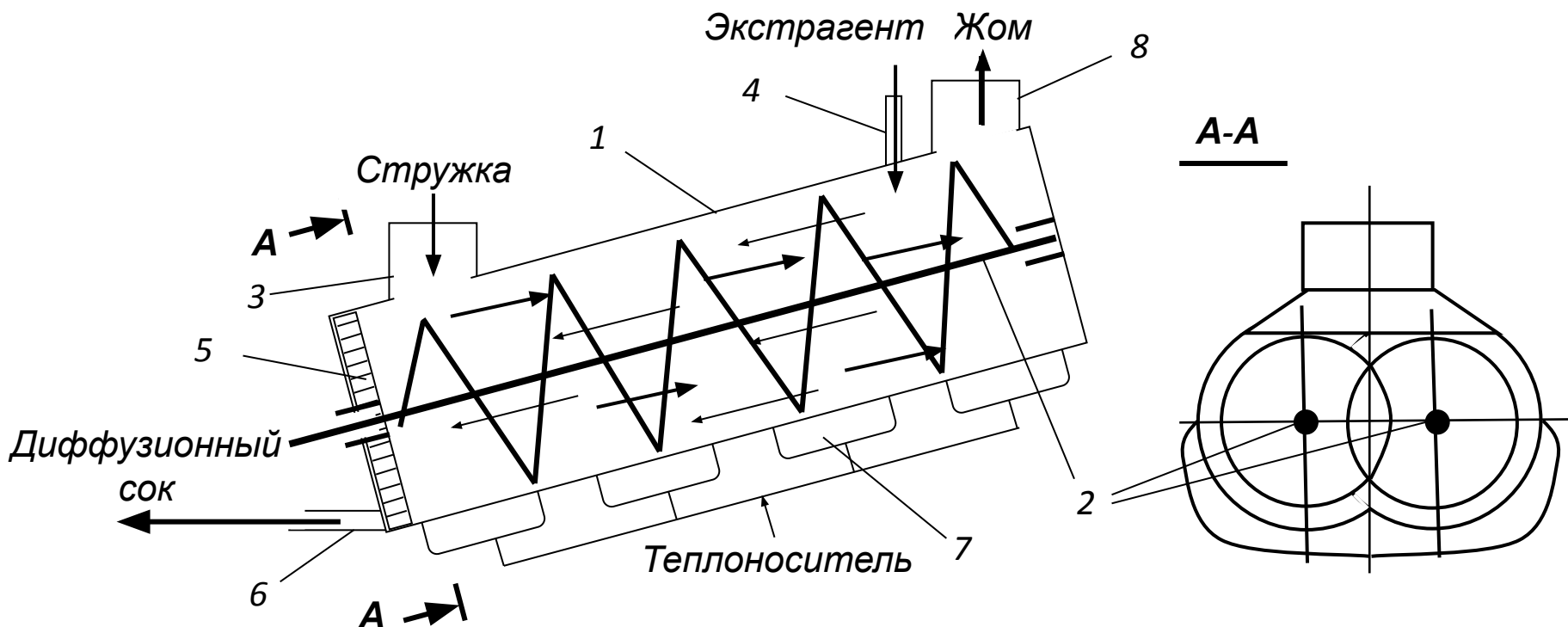
Тарельчатый экстрактор:

1-цилиндрический корпус;
2-переливной устройство;
3-ситчатые тарелки.

Роторно-дисковый экстрактор:

1,5-отстойные ЗОНЫ, 2—корпус;
1-кольцевые перегородки; 4-ротор.

Диффузионный шнековый аппарат



- 1 – корпус; 2 – шнековый вал; 3 – приемный бункер;
 4 – патрубок; 5 – сито; 6 – отводящий патрубок;
 7 – греющие камеры

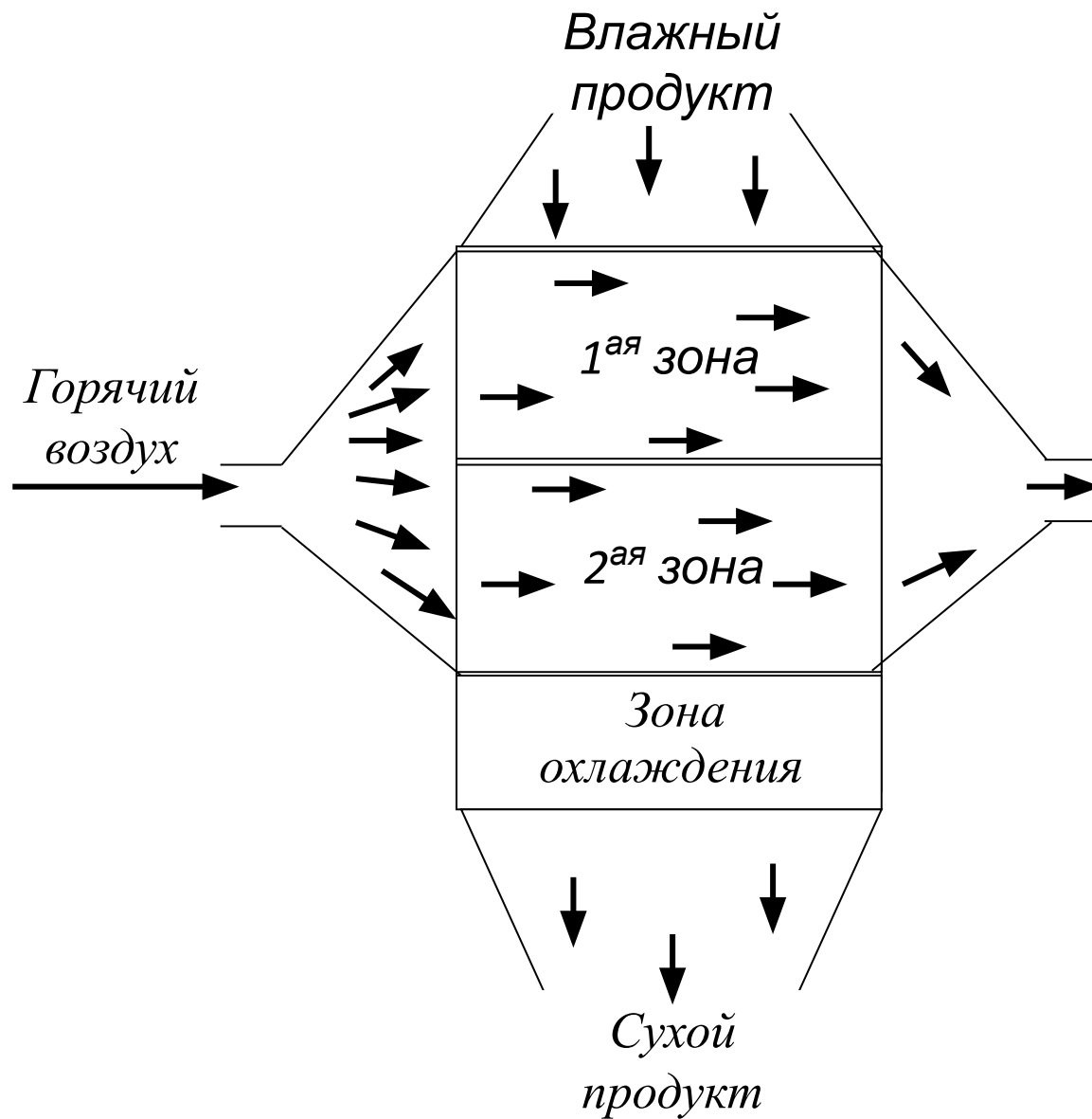


стружка

Двухколонный диффузионный аппарат:

*1,5 -штуцера; 2-ротационный зябрасыватель;
3-барабан; 4-корпус; 6-цепь; 7-рамка.*

Шахтная сушилка



Камерная сушилка:

1-корпус, 2-нагреватель; 3-калориферы; 4-вентилятор; 5-шибер.

Схема камерной сушилки:

*1 - камера; 2 – полка; 3 – калорифер; 4 – вентилятор;
5, 6, 7 – вентиляционные окна.*

.

Туннельная сушилка:

1-двери; 2-газоход; 3-вентилятор; 4-калорифер; 5-корпус;
6-тележки с материалом



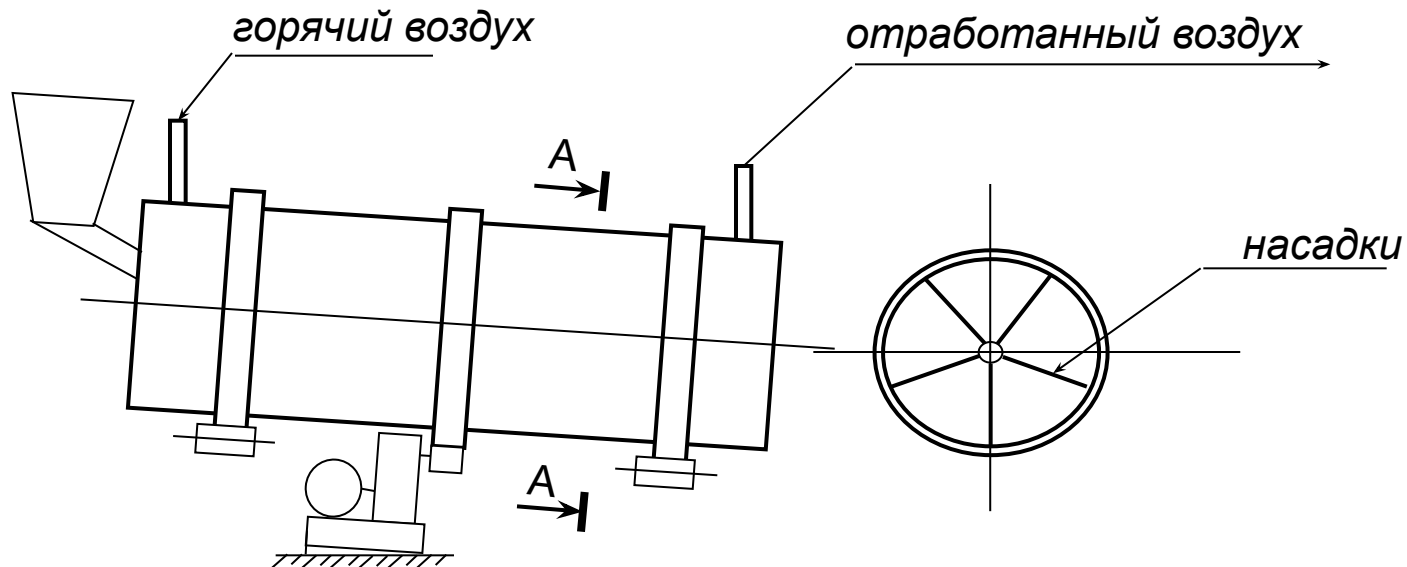
Схема туннельной сушилки:

1 - тележки; 2 - вентилятор; 3 – калорифер; 4 – двери.

Ленточная сушилка:

*1 – корпус; 2 - ленточный конвейер; 3 - ведущие барабаны, 4 - ведомые барабаны;
5 - калориферы.; 6 - бункер с загрузочным устройством.*

Барabanная сушилка



а)

б)

в)

Внутренние насадки:

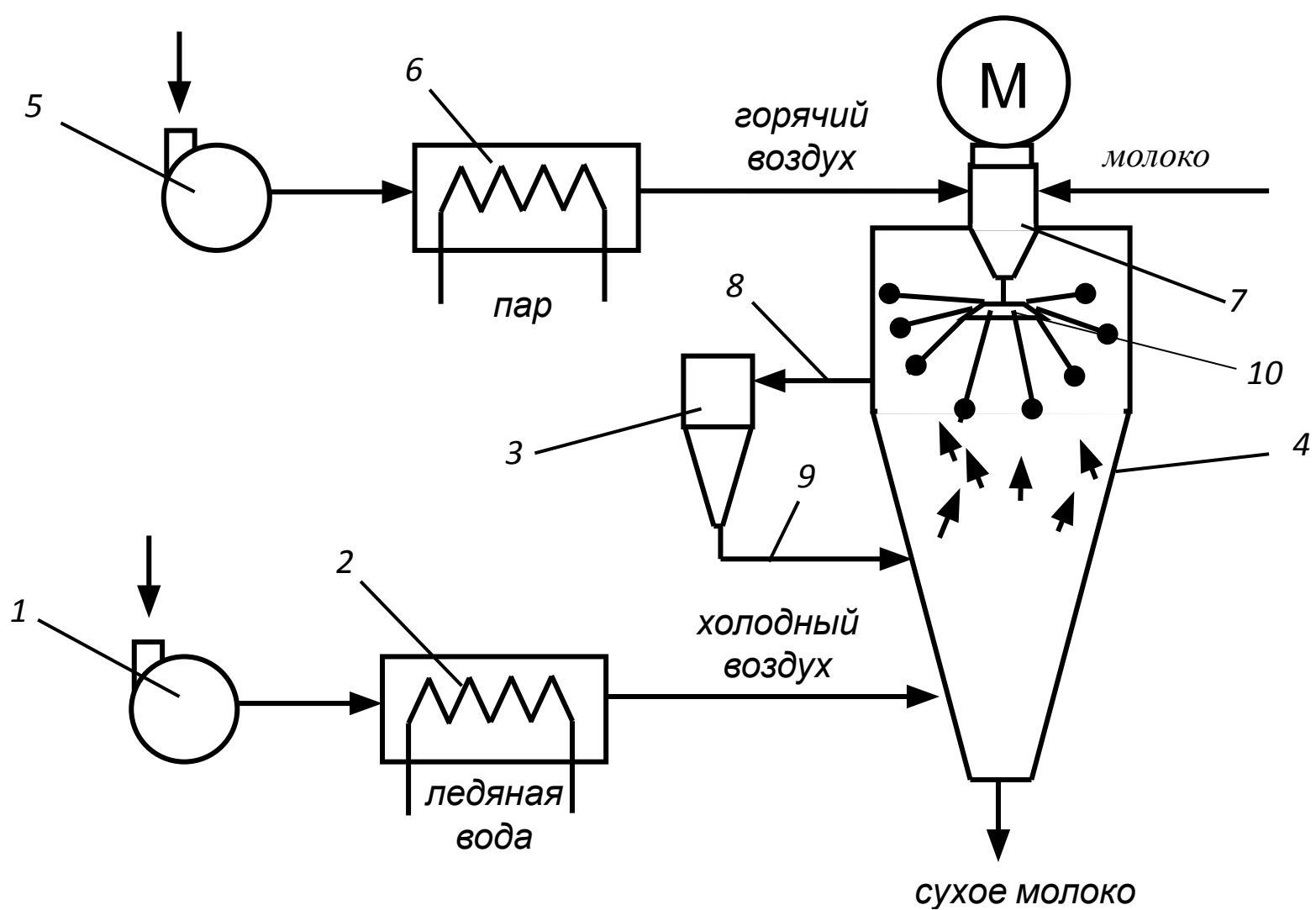
а) – подъемно-лопастная;

б) - распределительная

в) - перевалочная

\ Вальцовая (пленочная) сушилка:

1 – поддон, 2 – шнеки, 3 – вальцы- барабаны; 4 - ножи; 5 желоб, 6 – зонт, 7 – мельница.



Распылительная тарельчатая сушилка

1 – вентиляторы; 2 – воздухоохладитель; 3 – циклон;
 4 – корпус распылительной сушилки; 6 - калорифер;
 7 – форсунка; 8 – впускной патрубок циклона;
 9 – обратный патрубок циклона, 10 – тарелка.

Установка сублимационной сушки:

1 – сублиматор; 2 – плиты; 3 – противни; 4 – вымораживатель.

Схема радиационной сушилки с излучателями:

1 - излучатель; 2 - конвейер; 3 - вытяжное устройство

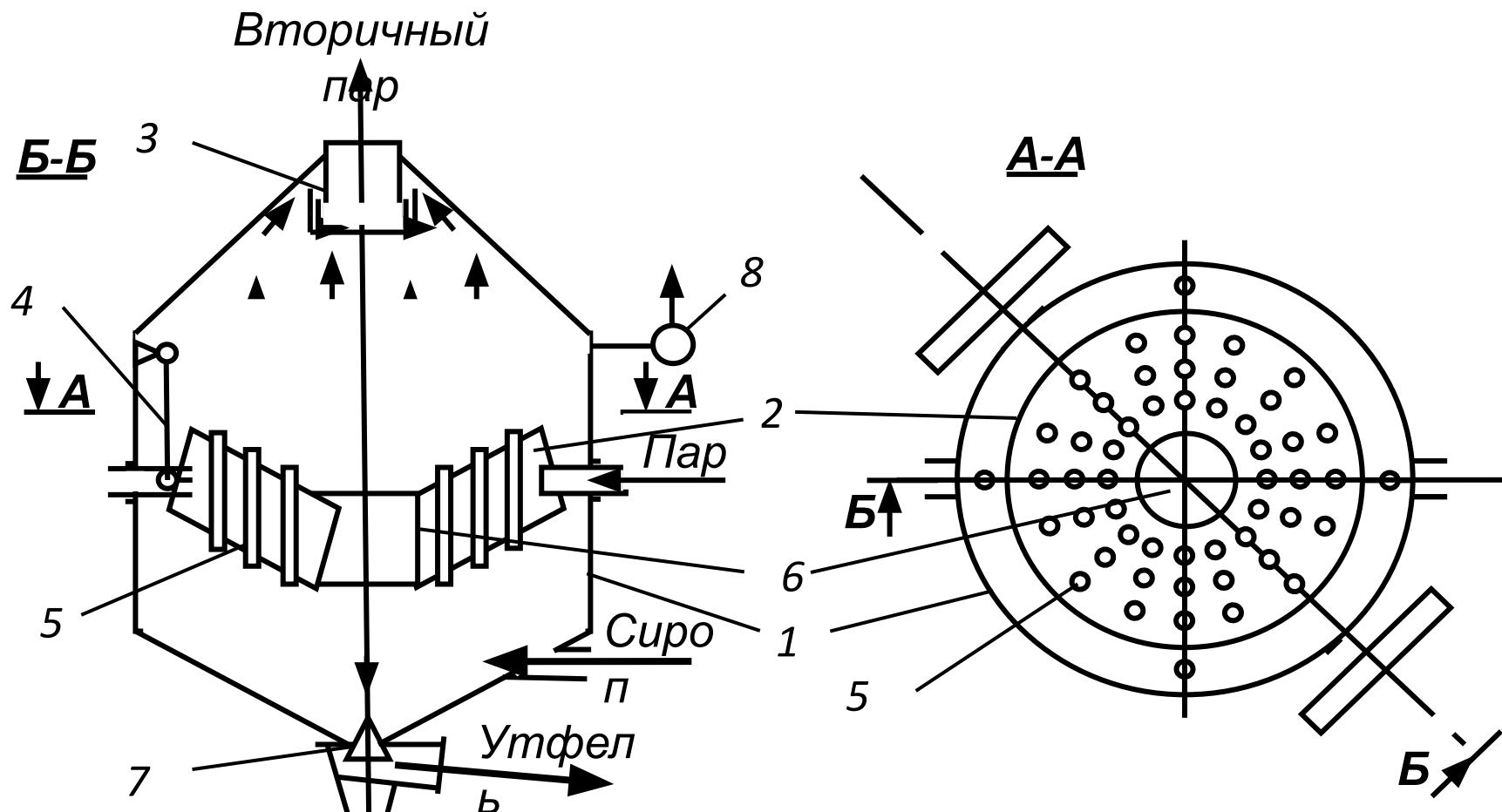


Схема вакуум-аппарата:

- 1 – корпус; 2 – греющая камера
- 3 – сепаратор; 4 – тяга;
- 5 – трубы греющей камеры;
- 6 – циркуляционная труба;
- 7 – спускной клапан;
- 8 – вакуум-насос.

где Q – количество переданной теплоты,
Дж;

K – коэффициент теплопередачи
между средами, Вт/м²К;

F – площадь поверхности теплообмена,
м²;

Δt_{cp} – средняя разность температур
между средами – движущая сила
процесса, К.

α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи
внешней и внутренней стенок
в окружающую среду, Вт/м²К;

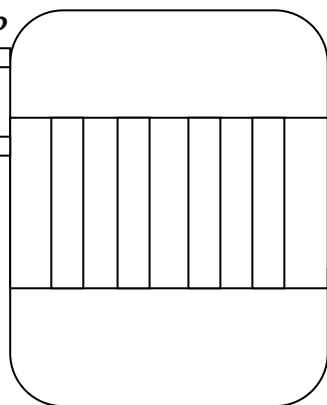
δ – толщина стенки, м;

λ – теплопроводность стенки,
Вт/мК.

Нагретая
жидкость

Пар

A ↓

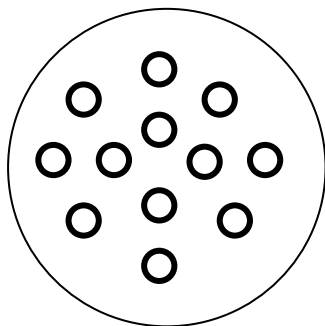


A ↓

конденсат

AA

Холодная
жидкость



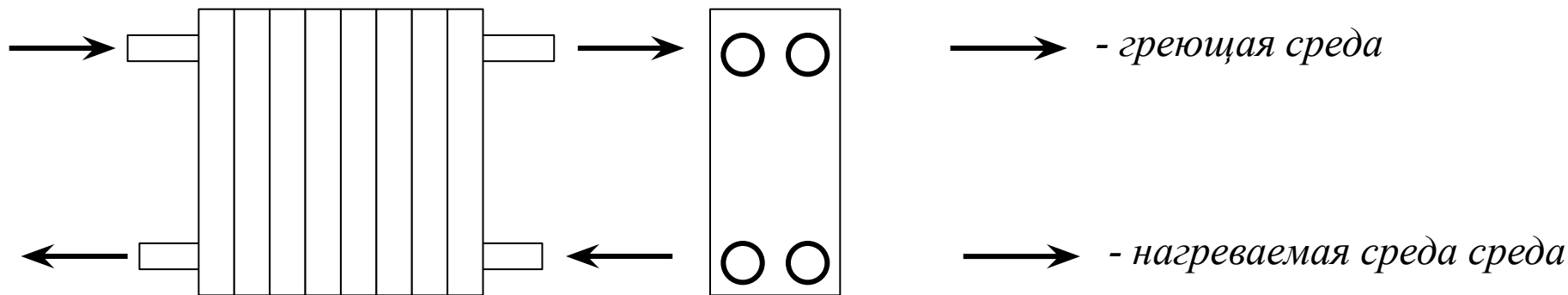


Схема однокорпусной вакуум-выпарной установки

1-сборник, 2- насос. 3 – подогреватель, 4 – выпарной аппарат, 5 – сепаратор-ловушка, 6 – барометрический конденсатор, 7 – каплеуловитель, 8 – барометрическая труба, 9 – сборник, 10 – насос.

Схема трехкорпусной вакуум-выпарной установки:
W – вторичный пар, E – экстрапар, D – греющий пар,

Выпарная установка с механическим тепловым насосом:

1 – выпарной аппарат;
2 – турбокомпрессор.

Выпарная установка с пароструйным тепловым насосом:

1 – выпарной аппарат; 2 – инжектор.

Кривая роста культуры микроорганизмов

Схема ферментаторов

а) - чан с мешалкой и барботажем воздуха; б) – чан с пропеллерной мешалкой; в) – чан с циркуляцией;

1 – мешалка; 2 – циркуляционный насос.