

В.Н. ДОЛГУНИН, В.Я. БОРЩЕВ, А.Н. КУДИ,  
О.О. ИВАНОВ, В.А. ПРОНИН, П.А. ИВАНОВ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ В ПИЩЕВЫХ  
ПРОИЗВОДСТВАХ



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Тамбовский государственный технический университет"

В.Н. ДОЛГУНИН, В.Я. БОРЩЕВ, А.Н. КУДИ,  
О.О. ИВАНОВ, В.А. ПРОНИН, П.А. ИВАНОВ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ В ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

*Утверждено Ученым советом университета  
в качестве учебного пособия*



---

Тамбов  
◆ Издательство ТГТУ ◆  
2005

УДК 664(07)  
ББК Л812я73-2  
О-224

Рецензенты:  
Генеральный директор ООО "Инновационно-технологический центр  
машиностроения", профессор  
*А.Г. Ткачев*

Кандидат технических наук, доцент  
*З.А. Михалева*

О-224 Оборудование для механической переработки в пищевых производствах : учеб. пособие / В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев, А.Н. Куди, О.О. Иванов [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 80 с.

В соответствии с программой курса "Машины и аппараты пищевых производств" изложены разделы: технологическое оборудование для механической переработки сырья и полуфабрикатов разделением; оборудование для переработки сырья и полуфабрикатов методом соединения; технологическое оборудование для механической переработки сырья и полуфабрикатов формованием.

Предназначено для студентов специальности 260601 "Машины и аппараты пищевых производств" очной и заочной форм обучения, а также обучающихся дистанционно и по ускоренной системе.

УДК 664(07)  
ББК Л812я73-2

ISBN 5-8265-0375-0

© В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев,  
А.Н. Куди, О.О. Иванов, В.А. Пронин,  
П.А. Иванов, 2005  
© Тамбовский государственный  
технический университет (ТГТУ),  
2005

Учебное издание

ДОЛГУНИН Виктор Николаевич,  
БОРЩЕВ Вячеслав Яковлевич,  
КУДИ Андрей Николаевич,  
ИВАНОВ Олег Олегович,  
ПРОНИН Василий Александрович,  
ИВАНОВ Павел Александрович

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ В ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Учебное пособие

Редактор З.Г. Чернова  
Компьютерное макетирование М.А. Филатовой

Подписано к печати 20.04.2005.

Формат 60 × 84 / 16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура Times New Roman. Объем: 4,7 усл. печ. л.; 4,6 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. С. 258

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Основными задачами, стоящими перед пищевой промышленностью, являются обеспечение устойчивого снабжения населения качественными продуктами питания и организация производства принципиально новых видов продуктов, а также создание и внедрение современных высокоэффективных видов технологического оборудования, которые на основе использования прогрессивных технологий повышают производительность, сокращают негативное воздействие на окружающую среду и способствуют экономии исходного сырья, топливно-энергетических и материальных ресурсов.

Удовлетворение потребностей в безопасных и высококачественных продуктах питания – острейшая социально-экономическая проблема сегодняшнего дня. Состояние питания населения – один из важнейших факторов, определяющих здоровье и сохранение генофонда нации. Правильное питание способствует профилактике заболеваний, продлению жизни, созданию условий для повышения способности организма противостоять неблагоприятным воздействиям окружающей среды, обеспечивает полноценный нормальный рост и развитие детей.

Последние десятилетия в Российской Федерации наблюдается заметное снижение потребления населением многих традиционных продуктов питания – мяса, молока, фруктов и овощей, рыбы и растительных жиров. Состояние здоровья россиян характеризуется негативными тенденциями. Продолжает сокращаться средняя продолжительность жизни, растет общая заболеваемость населения. Перерабатывающая промышленность России, которая должна обеспечивать устойчивое снабжение населения широким ассортиментом качественных продуктов питания, в последние годы находится в сложном положении. Технический уровень многих пищевых производств не удовлетворяет современным требованиям. Только 19 % активной части производственных фондов соответствуют мировому уровню, около 25 % подлежат модернизации и 42 % – замене. Производительность труда на российских предприятиях, перерабатывающих сельскохозяйственное сырье, в 2–3 раза ниже, чем на аналогичных предприятиях развитых стран; более 50 % трудоемких операций выполняются вручную, степень износа основных фондов составляет 76 %. Потребность в важнейших видах оборудования для предприятий удовлетворяется только на 60...70 %. Сократился ассортимент выпускаемой продукции, многих специальных продуктов питания для населения различных возрастных групп. Объем валовой продукции (в сопоставимых ценах) по сравнению с 1990 г. снизился более чем на одну треть. Недостаток ресурсов компенсируется завозом импортных продуктов.

Для выхода из создавшегося положения требуется коренная реконструкция многих предприятий пищевых отраслей, оснащение их современной техникой, создание принципиально новых, энергетически выгодных технологий, обеспечивающих комплексную безотходную переработку сырья и производство экологически безопасных продуктов питания с учетом потребностей различных возрастных групп и состояния здоровья населения.

В связи с необходимостью наращивания темпов производства пищевых продуктов приобретает важное значение интенсификация и применение ресурсосберегающих технологий обработки пищевого сырья, разработка и проектирование новых видов оборудования и методик его расчета поскольку в результате фундаментальных и прикладных исследований значительно расширились возможности создания новых поколений машин и аппаратов пищевых производств.

Знания, приобретенные студентами при изучении первой части курса "Технологическое оборудование пищевых производств", позволят им не только более детально изучить устройство, принцип действия оборудования, методику его расчета, но и наметить основные пути его совершенствования и модернизации.

В последнее время в преподавании курса оборудования применительно к общепищевой специализации специальности 260601 наметился подход, позволяющий подготовить инженера широкого профиля. Этот подход, на основе которого и построено учебное пособие, рассматривает оборудование не по производствам, не по технологиям, а по функциям, выполняемым данным оборудованием, или по процессам, имеющим место при переработке сырья на данном виде оборудования. Это позволяет наметить меньше разделов, чем в случае рассмотрения оборудования конкретных пищевых производств, и, значит, лучше изучить их. На окончательном этапе обучения (в дипломном проектировании) будущий инженер изучает оборудование какого-либо конкретного производства. Сделать это на базе общего курса, построенного по функциональному признаку, легко. И, что самое главное, в практической деятельности на базе общих расчетов оборудования разных функциональных групп можно самостоятельно изучить конкретное оборудование различных пищевых производств.

Авторы выражают признательность рецензентам за ценные советы и замечания, сделанные ими при подготовке рукописи к печати. Все замечания и пожелания читателей будут приняты авторами с благодарностью.

## 1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ И ПОЛУФАБРИКАТОВ РАЗДЕЛЕНИЕМ

Основной характеристикой процесса механической переработки является степень измельчения – отношение размеров частиц до  $d_n$  и после измельчения  $d_k$ . В зависимости от конечного размера частиц различают дробление (грубое измельчение до частиц диаметром 1 мм) и помол (тонкое измельчение до частиц диаметром 0,001 мм). В соответствии с этим технологическое оборудование для измельчения подразделяется на дробление крупного ( $d_k = 100 \dots 350$  мм), среднего ( $d_k = 40 \dots 100$  мм), мелкого ( $d_k = 5 \dots 40$  мм), мельницы тонкого ( $d_k = 0,001 \dots 0,05$  мм) и коллоидного измельчения ( $d_k < 0,001$  мм).

Обрабатываемое сырье и полуфабрикаты измельчают различными способами.

1 Раздавливание (рис. 1, а), при котором тело под действием нагрузки деформируется по всему объему, частицы получают различного размера и разной формы.

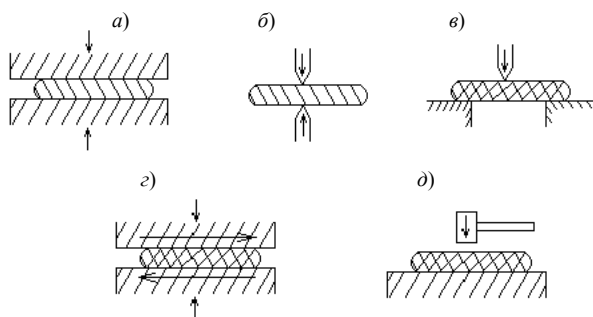


Рис. 1 Различные способы измельчения

2 Раскалывание (рис. 1, б), когда тело разрушается на части в местах напряжений, вызываемых клинообразным органом, и измельчается. Частицы более однородны по размерам и форме, хотя форма, также как и при раздавливании, непостоянна.

3 Разламывание (рис. 1, в), когда тело разрушается по действием изгибающих моментов. Форма и размер частиц – такие же, как и при раскалывании.

4 Истирание (рис. 1, г), когда тело разрушается под действием сил сжатия и тангенциальных сил. В результате трения получают мелкий крошкообразный продукт.

5 Удар (рис. 1, д), когда тело распадается на части под действием динамической нагрузки. Эффект при этом зависит от характера нагрузки: при сосредоточенной нагрузке он аналогичен раскалыванию, а при распределенной – раздавливанию. Различают разрушения стесненным и свободным ударом. При стесненном ударе тело разрушается, попадая между двумя рабочими органами измельчителя.

### 1.1 ВАЛКОВЫЕ ДРОБИЛКИ

Валковые дробилки применяются для крупного, среднего и мелкого дробления материалов с различными физико-механическими свойствами, в том числе влажных и вязких.

Основными рабочими элементами валковых машин являются массивные пустотелые целые или сборные валки цилиндрической формы. По количеству валков дробилки делятся на одновалковые, двухвалковые и многовалковые. По форме рабочей поверхности дробилки бывают с зубчатыми, рифленными и гладкими валками. Дробилки с зубчатыми и рифленными поверхностями валков применяются для крупного и среднего дробления, с гладкими валками для мелкого дробления.

В зубовалковых дробилках материал измельчается в основном раскалыванием, в гладковалковых – раздавливанием и частично истиранием.

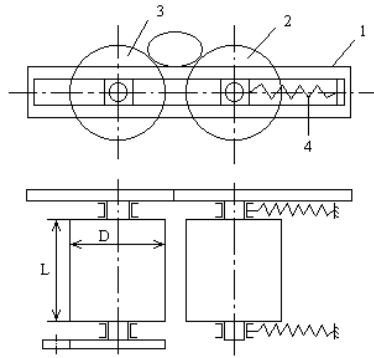


Рис. 2 Конструкция валковой дробилки

Валковая дробилка (рис. 2) с гладкими валками состоит из станины 1 и валков 2, 3. Валок 2 установлен в подвижных подшипниках и может перемещаться (подвижный валок). Подшипники валка 3 закреплены неподвижно (этот валок является неподвижным). Валок 2 удерживается в определенном положении пружинами 4. При попадании в дробилку куса чрезмерно твердого материала пружины сжимаются, валки раздвигаются и пропускают этот кусок без помола.

Для того, чтобы куски измельчаемого материала втягивались вследствие трения между валками, размер кусков должен быть примерно в 20 раз меньше диаметра валков. Поэтому гладкие валки применяются только для среднего и мелкого дробления.

Для дробления хрупких материалов средней твердости (например, поваренной соли) применяют зубчатые валковые дробилки. Зубчатые валки могут захватить материал с поперечником до  $0,25 \dots 0,5$  диаметра валка  $D$ . Для изменения небольших кусков с размерами примерно  $0,08 \dots 0,1 D$  используют валки рифленные или с мелкими зубьями.

Для дробления солода на пивоварных заводах используют шестивалковую дробилку (рис. 3).

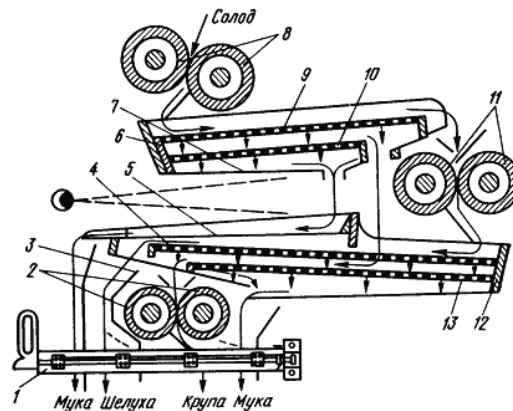


Рис. 3 Схема шестивалковой дробилки:

- 1 – желоб; 2, 8, 11 – валцы; 3 – разделяющая перегородка; 4, 12 – сита;  
 5, 7 – плоскости; 6 – колеблющиеся сита (9 – верхнее, 10 – нижнее);  
 13 – сито для мелкой крупы

Для получения максимального количества мелкой однородной крупы обработку солода ведут последовательно и фракционно на двух первых валках. Солод предварительно дробится верхней парой валков 11. Дробленный солод вибросистемой разделяется на три фракции, а перед сходом в бункер с верхнего сита идет шелуха, мелкая фракция проходит оба сита и попадает в бункер, крупная фракция проходит сквозь верхнее сито и сходом с нижнего сита направляется на нижнюю пару валков 8. Наиболее современное измельчение солода благодаря выделению фракций и обработке составных частей дробины обеспечивает шестивалковая дробилка.

Для многократного измельчения на кондитерских фабриках используется трех-, пяти-, восьмивалковые мельницы. Из них наиболее распространены пятивалковые машины для тонкого измельчения шоколадных и ореховых масс и шоколадных начинок. Всевозможными комбинациями числа пар вал-

ков, их формы и профиля, размещения валков и направления потока обрабатываемого продукта можно получить различные типы измельчающих машин, такие как раздавливающего, раздавливающе-стирающего и раскалывающего действия.

## 1.2 РАСЧЕТ ВАЛКОВ ДРОБИЛОК

Угол захвата. На кусок материала, находящегося между валками (рис. 4), действует сила давления  $P$  валка. Сила  $P$  вызывает силу трения  $fP$ , где  $f$  – коэффициент трения скольжения между куском и валком.

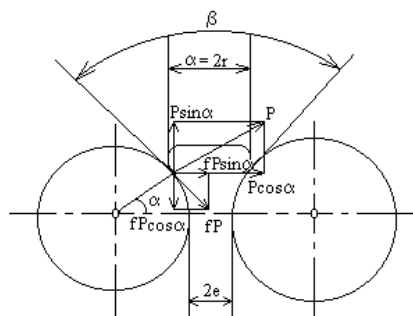


Рис. 4 К расчету валков дробилок

Для втягивания куса между валками и его измельчения необходимо, чтобы втягивающие силы  $2fP \cos \alpha$  при вращении двух валков были больше выталкивающих, т.е. должно соблюдаться условие  $2fP \cos \alpha \geq 2P \sin \alpha$  или  $\operatorname{tg} \alpha \leq f$ ;  $\operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg} \varphi$ , где  $\varphi$  – угол трения. Откуда получим  $\alpha \leq \varphi$ . Учитывая, что  $\beta = 2\alpha$ , можно условия дробления материала представить в виде  $\beta \leq 2\alpha$ .

В валковых дробилках угол захвата обычно принимают равным  $18^\circ$ .

Наибольший размер захватываемых кусков. Согласно схеме рис. 4  $R + e = (R + r) \cos \alpha$ . Умножая обе части этого уравнения на два и решая его относительно  $2r$ , находим наибольший диаметр кусков:

$$d = 2r = \frac{2R(1 - \cos \alpha) + 2e}{\cos \alpha}.$$

Принимая  $\alpha = 18^\circ$ , получаем  $2r \approx 0,1R + 2e$ . На практике диаметр кусков в 20...25 раз меньше диаметра валков.

Скорость валков. Предельное число оборотов  $n$  (мин<sup>-1</sup>) валков находят из условия недопускания отставания материала от поверхности валка, что может привести к снижению производительности дробилки:

$$n = 616 \sqrt{\frac{f}{\rho d_n D}},$$

где  $f = 0,2$  – коэффициент трения.

Обычно окружная скорость колеблется в пределе  $3 \dots 6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  (не более  $8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ).

Производительность. Теоретическая производительность  $Q$  валков дробилок определяется по формуле

$$Q = 1,25 \mu \rho L_p D d_k n,$$

где  $\mu$  – коэффициент разрыхления измельчаемого материала ( $\mu = 0,2 \dots 0,3$  – для прочных материалов;  $\mu = 0,4 \dots 0,6$  – для пластичных материалов);  $L_p = 0,9L$  рабочая длина валка.

Потребляемая мощность. В валковых дробилках энергия расходуется на дробление материала, преодоление сил трения материала о поверхности валков, под действием которых материал продвигается в зазор между валками и сил трения в подшипниках. Учет этих затрат энергии необходим обычно в тех



случаях, когда измельчение ведется при больших скоростях валков (до  $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ). Для небольших скоростей ( $2 \dots 4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ) мощность можно определить из соотношения предельной прочности:

$$N = 1,39 \cdot 10^{-6} \frac{\sigma^2 Q}{E \eta \gamma} \lg i,$$

где  $\sigma$  – предел прочности,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;  $E$  – модуль упругости,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;  $\eta = 0,32 \dots 0,38$  – общий механический КПД дробилки;  $\gamma$  – удельный вес,  $\text{Н}/\text{м}^3$ ;  $i$  – степень измельчения.

### 1.3 МОЛОТКОВЫЕ ДРОБИЛКИ

Основными рабочими органами молотковых дробилок является ротор с молотками и статор – корпус. Материал измельчается свободным и стесненным ударом. В первом случае разрушение происходит в результате столкновения частиц с ударяющими телами или друг с другом в полете, во втором – материал разрушается между двумя соударяющимися поверхностями, а осколки разрушаемого материала свободно разлетаются только в боковые стороны. На рис. 5 показана схема такой дробилки.

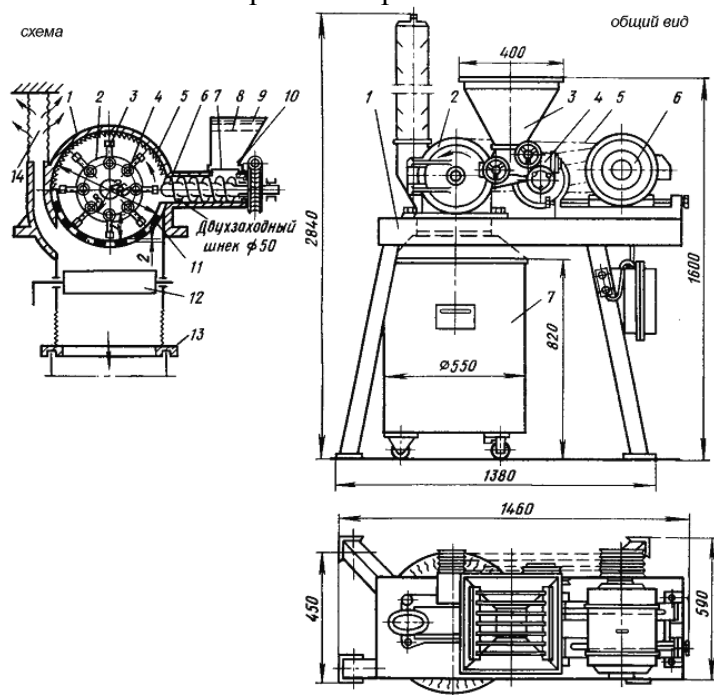


Рис. 5 Молотковая дробилка

Корпус дробилки состоит из нижней 1 и верхней 2 частей. Нижняя часть корпуса служит основанием. В ней установлена пазовая решетка 5, для обслуживания которой предусмотрены окна 4 с откидными крышками. Верхняя часть корпуса имеет наклонную загрузочную воронку 5, шарнирно подвешенную шторку 6, предупреждающую выброс материала из дробилки и броневые плиты 7, воспринимающие на себя удары отлетающих от молотков частиц измельчаемого материала. Ротор дробилки состоит из вала 8, на котором находятся диски 9 и фиксирующие кольца 10. По окружностям дисков просверлены отверстия, через которые пропущены стяжки 11. На оси между дисками одеты молотки 12. На концах вала посажены маховики, один из которых играет роль шкива. Ротор вращается в подшипниках, укрепленных в корпусе дробилки.

Поступающий через воронку материал попадает под удар быстро вращающихся молотков, разрушается от столкновения с ними и отбрасывается к броневой плите. Ударившись о нее, частицы отлетают и попадают опять под молотки. Разрушенные и отброшенные второй раз к броневой плите частицы снова возвращаются под молотки. Такое движение и разрушение материала происходит до тех пор, пока частицы не попадут на колосниковую (пазовую решетку) и не выйдут из зоны измельчения через ее отверстия. Куски материала не успевшие разрушиться до необходимого размера за первый проход через зону измельчения, движущимися молотками могут измельчаться на пазовой решетке или поднимаются и возвращаются в зону интенсивного измельчения.

Размер частиц измельчаемого материала определяется размером отверстий в пазовой решетке.

## 1.4 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕЗКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Технические устройства для резки разнообразны. Их конкретное использование зависит от цели технологического процесса, материала, свойств, вида и формы используемого инструмента и от принципа действия режущего устройства. Машины для резки можно классифицировать по следующим признакам:

- форма режущей поверхности (рис. 6);
- вид резки – давление, строгание, свободное падение, свободное резание (рис. 7);
- положение режущего инструмента (неподвижное (закрепленное, стационарное), поступательное, вращательное или колебательное) (рис. 8).

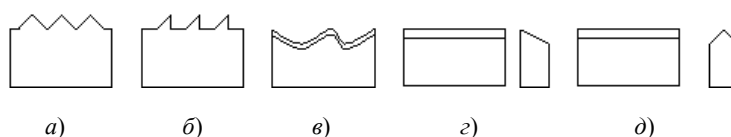


Рис. 6 Формы режущей поверхности:

*a* – острая; *б* – зубчатая; *в* – дугообразная зубчатая; *г* – гладкая односторонней заточки; *д* – гладкая двусторонней заточки

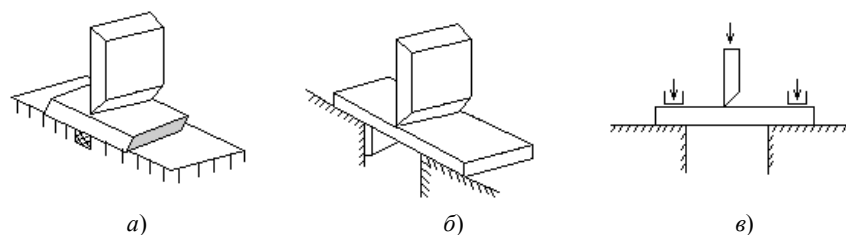


Рис. 7 Различные виды резки:

*a* – давление против прочной основы; *б* – контроножами; *в* – свободная

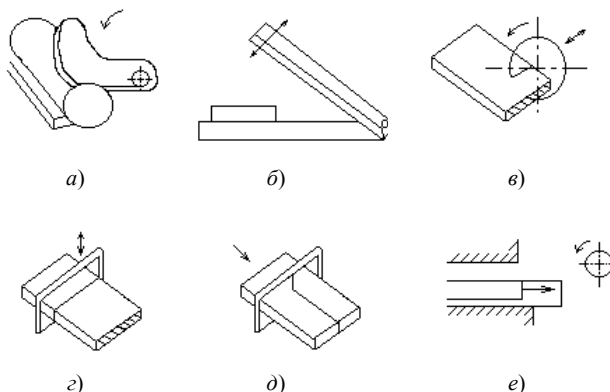


Рис. 8 Положение режущего инструмента:

*a* – вращающийся саблеобразный нож; *б* – качающийся саблеобразный нож; *в* – вращающийся дисковый нож; *г* – поступательно движущаяся режущая проволока; *д* – закрепленная режущая проволока; *е* – вращающийся нож

Круглые и дисковые ножи используют главным образом для резки пластичных и мягких материалов (мясо, рыба, тесто). Лезвие при этом гладкое или с плавными зубьями. Для твердого и хрупкого материала такие ножи тоже применяются, если лезвие имеет острые зубья. Чтобы условия резки были благоприятными, рекомендуется выбирать радиус диска ножа в 2,5 – 3 раза больше толщины разрезаемого материала. Окружные скорости ножа в основном в пределах  $10 \dots 80 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ . Целесообразный угол разре-

зания составляет  $8...15^\circ$ . Круговые ножи удобны тем, что при соответствующем конструктивном оформлении втягивают разрезаемый материал в зону резки.

Плоские ножи широко применяются в пищевой промышленности. Их лезвия могут быть гладкими или зубчатыми. Работают они в большей части по принципу разрезания давлением или ножниц. Толщина ножа должна быть как можно меньше, так как при резании сопротивление сильно увеличивается. Так, при резке конфет оно может составлять до 60 % общего сопротивления резания. На силу резания влияет угол заточки резца ножа. Оптимальные параметры угла заточки ножа  $12...20^\circ$ .

Ленточные ножи применяются для резания хлеба, сухарных плит и других мучных изделий в горячем состоянии. Благодаря относительно малой ширине этих ножей сила трения о материал меньше, чем у дисковых ножей. Лезвие ленточного ножа в основном зубчатое. Скорость ленточного ножа, бегущего по двум дискам  $5...50 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Тем самым можно достичь высокой скорости протяжки при большой скорости резки. Толщина ленточных ножей примерно 1 мм.

Серпообразные и дугообразные ножи используются прежде всего для поперечной резки жгутообразных материалов и для мелкого дробления при переработке рыбы, мяса, овощей. Их режущий контур выполнен в виде либо архимедовой, либо логарифмической спирали. В первом случае при постоянной угловой скорости ножа скорость резания постоянна, во втором – постоянна плавность вдоль радиуса ножа. Их толщина от  $2...5 \text{ мм}$  и угол наклона лезвия  $8...12^\circ$ .

Режущая проволока – эффективный разделительный орган, по качеству резки соответствует ножам с тупыми лезвиями. Она может быть использована для резки материалов вязкопластичной гомогенной структуры (масла, маргарина, конфетной массы) или хрупких таких как вафли. Диаметр режущей проволоки  $0,2...2 \text{ мм}$ .

При выборе оптимального режущего органа большое значение отводится также выбору материала ножа. Он должен отвечать требованиям пищевой гигиены, быть износостойким и иметь незначительный коэффициент трения. Поверхность ножей для уменьшения трения можно покрывать, например тефлоном.

Процесс резания можно интенсифицировать, правильно выбирая режущий инструмент, движение разрезаемого материала и режущего органа, а также предварительного обрабатывания разрезаемого материала.

## 1.5 МАШИНЫ ДЛЯ РЕЗАНИЯ СВЕКЛЫ В СВЕКЛОВИЧНУЮ СТРУЖКУ

Для извлечения сахара из свеклы диффузионным способом свекле необходимо придать вид стружки. Процесс получения стружки из свекловичного корня осуществляется в свеклорезках при помощи диффузионных ножей, установленных в специальных рамах.

Свекловичная стружка, получаемая в резках, может иметь желобчатую или пластинчатую форму. Толщина нормальной стружки составляет  $0,5...1,0 \text{ мм}$ . Поверхность ее должна быть гладкой, без трещин. Слишком тонкая стружка нежелательна, так как она деформируется, сбивается в комки и ухудшает циркуляцию сока в диффузных установках. Качество свекловичной стружки принято определять длиной ее в метрах в навеске массой 100 г. Для этого стружки раскладывают на специальной доске с канавками.

В настоящее время на сахарных заводах наиболее распространены центробежные и дисковые свеклорезки.

Центробежные свеклорезки имеют 12 или 16 ножевых рам (соответственно СЦБ12 и СЦБ16 (рис. 9)). Свеклорезки комплектуются односкоростным приводом или приводом, позволяющим изменять число оборотов улитки. При односкоростном приводе применяется электродвигатель переменного тока мощностью 75 кВт, при этом скорость вращения улитки составляет  $143 \text{ мин}^{-1}$  и скорость изрезания свеклы равна  $9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Привод с регулируемым числом оборотов снабжен электродвигателем постоянного тока.

Центробежная свеклорезка состоит из следующих узлов: загрузочного бункера 12, цилиндрического корпуса 14, трехлопастной улитки 10, конического редуктора 21, верхнего кожуха 15, нижнего кожуха 1, ножевых рам 14. Привод резки состоит из редуктора 23 и электродвигателя 24.

Принцип действия свеклорезки заключается в следующем. Свекла загружается в свеклорезку через загрузочный бункер. В корпус 14 свекла увлекается вращающейся улиткой 10 и под действием центробежной силы прижимается к режущей кромке ножей, скользя по которым свекла постепенно изрезается на свекловичную стружку. Через проемы ножевых рам она выпадает в пространство между барабаном

свеклорезки и кожухом 15, затем через отверстие в нижнем кожухе 6 стружка поступает на дальнейшую обработку.

Свекольные ножи закладывают по два в нижнюю раму и закрепляют их болтом с гайкой. На рис. 10 изображены установка рамы с ножами в корпусе центробежной свеклорезки.

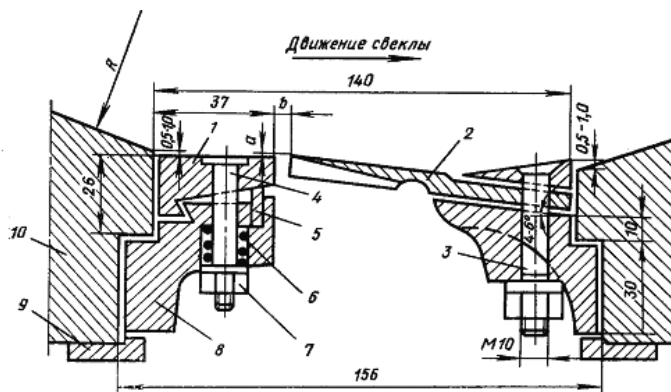


Рис. 10 Установка рамы с ножами в корпусе центробежной свеклорезки:

- 1 – регулировочная планка; 2 – свеклорезальный нож; 3, 4 – болты; 5 – клин;  
6 – пружина; 7 – гайка; 8 – рама; 9 – направляющая планка;  
10 – корпус свеклорезки

Для врезания в свеклу лезвия ножа должны возвышаться над планкой на некоторую величину  $a$ , причем необходимую высоту разьема ножа регулируют планкой 1, расположенной перед ножом. Планка поднимается и опускается при помощи клина 5. Стружка, выходящая из-под ножа, не должна круто изгибаться и вследствие этого ломаться. Поэтому лезвие ножа устанавливают на некотором расстоянии от планки, которое называется зазором.

Дисковые свеклорезки. В дисковых свеклорезках ножевые рамы расположены в прямоугольных отверстиях горизонтально расположенного диска, который вращается (см. рис. 11). Дисковые свеклорезки бывают с нижним и верхним приводом.

Принцип действия свеклорезок заключается в следующем. Свекла из бункера попадает в пространство для изрезания. Это устройство предназначено для подачи свеклы на диски под таким давлением, чтобы стружка нарезалась одинаковой толщины. Давление определяется высотой материала в бункере. Хорошая стружка получается при высоте слоя свеклы 1,5...2,0 м. На дисках она изрезается ножами, установленными в ножевых рамах.

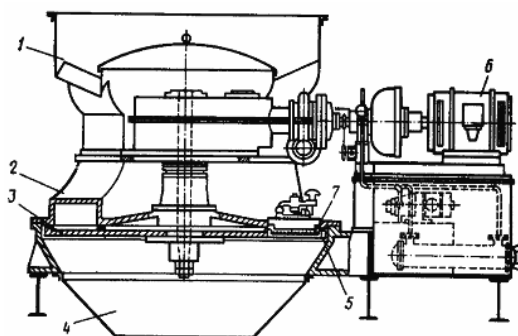


Рис. 11 Дисковая свеклорезка:

- 1 – приемный бункер; 2 – прижим свеклы; 3 – горизонтальный диск; 4 – выходная воронка для стружки;  
5 – рама; 6 – привод; 7 – нож

Диски бывают правого и левого вращения. Обычно диски изготавливаются составными. Наружную часть диска 3, которая ослаблена отверстиями для ножевых рам 5, изготавливают из листовой стали лучшего качества. Внутреннюю часть диска вместе со ступицей изготавливают из чугуна, внутренние

части диска соединяют болтовыми соединениями. Благодаря этому стальное кольцо при полном его износе может быть заменено.

## 1.6 РАСЧЕТ СВЕКЛОРЕЗОК

Производительностью свеклореза называется количество изрезаемой в ней свеклы за определенный промежуток времени при соблюдении требуемого качества свекольной стружки.

Производительность свеклорезки  $G$  ( $\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}$ ) зависит от общей длины режущей кромки ножей, установленных в рамах свеклорезки, средней окружной скорости резания, толщины свекольной стружки, объемной массы свеклы, конструктивного и эксплуатационного коэффициента свеклорезки.

Общая длина ножей определяется как произведение длины режущей кромки одного ножа на количество ножей, установленных во всех рамах в свеклорезке.

Средняя скорость резания свеклы в дисковых свеклорезках определяется в зависимости от средней окружности, проходящей через середину рам, а в центробежных – от внутреннего диаметра корпуса.

Формула для определения производительности имеет вид

$$G = aLV\rho K_k K_e,$$

где  $a$  – высота подъема ножа, м;  $L$  – длина режущей кромки, м;  $V$  – скорость резания свеклы,  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ ;  $\rho$  – начальная плотность,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;  $K_k, K_e$  – конструктивный и эксплуатационный коэффициенты свеклорезки. Величины  $V$ ,  $\rho$ ,  $K_k$ ,  $K_e$  выбираются по табличным данным.

При заданной производительности из данной формулы находят  $L$ . Мощность привода свеклорезки зависит от следующих основных факторов: конструкции свеклорезки, количества ножевых рам, длины ножей, скорости резания, длины и формы стружки и скорости поступления свеклы в резку. При работе свеклорезки мощность потребляется:

- 1) на изрезание свеклы;
- 2) на преодоление сил трения свеклы о ножи и ножевые рамы;
- 3) на разгон свеклы до скорости изрезания;
- 4) на преодоление сил трения между подвижным и неподвижным слоями свеклы при поступлении в свеклорезку.

## 1.7 КЛАССИФИКАЦИЯ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ

В зависимости от того, какая фаза движется относительно другой, различают два основных метода разделения суспензий: осаждение и фильтрование. При осаждении частицы движутся относительно сплошной среды, а при фильтровании дисперсионная среда проходит через концентрированную суспензию или специально предназначенное для разделения пористое тело. Относительное перемещение фаз может происходить при воздействии на них силового поля. Осаждение, например, осуществляется под действием гравитационных или центробежных сил, фильтрование может происходить под вакуумом, при повышенном давлении, при совместном воздействии этих факторов, либо под влиянием центробежных сил.

В соответствии с этим при разделении суспензий могут быть использованы: для осаждения – отстойники, отстойные центрифуги, сепараторы, гидроциклоны, а для фильтрования – фильтры, работающие под давлением, вакуум-фильтры, фильтрующие центрифуги и др.

В общем случае выбор оборудования и его эффективность зависят от множества факторов, которые можно разделить на четыре основные группы: свойства суспензий; требования, предъявляемые к качеству осадка и фильтрата; особенности производства; технологические возможности оборудования.

Примером фильтра, работающего под разрежением, может служить барабанный вакуум-фильтр.

Барабанный вакуум-фильтр  
с наружной фильтрующей поверхностью

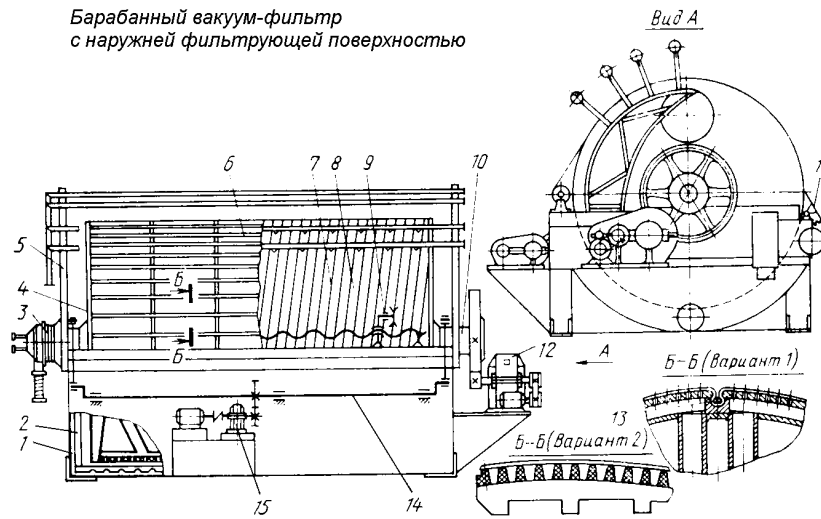


Рис. 12 Барабанный вакуум-фильтр  
с наружной фильтрующей поверхностью

Работа вакуум-фильтрационной установки осуществляется следующим образом: суспензия подается в поддон 1, где ее уровень поддерживается постоянным. Процесс фильтрования осуществляется в четырех зонах по ходу вращения барабана. В зоне сектора 1 происходит фильтрование под вакуумом через ткань на барабане с одновременным отложением на ней осадка. В зоне сектора 2 осадок подсушивается вследствие того, что засасываемый в секцию воздух увлекает с собой влагу из осадка. В зоне сектора 3 проводят промывку осадка путем орошения его водой или другой промывной жидкостью. В зоне сектора 4 производят отдувку и разрыхление осадка чистым воздухом, поступающим внутрь секции и очистку фильтра от осадка.

Согласно приведенной выше классификации оборудование делится по принципу действия. По конструктивным признакам оно может быть сгруппировано несколько иначе: отстойники, фильтры, центрифуги, сепараторы, гидроциклоны и т.д. Такое деление обосновано не только конструктивными особенностями оборудования (например, наличием общих конструктивных элементов у отстойных и фильтрующих центрифуг), но и общностью методов технологического и конструктивного расчетов. Оборудование может быть классифицировано по назначению. Например, центрифуги и барабанные вакуум-фильтры входят в группу оборудования для разделения грубодисперсных суспензий, а центробежные сепараторы и патронные фильтры – в группу оборудования для разделения высокодисперсных суспензий. Такая классификация оборудования удобна при выборе оборудования для конкретных целей.

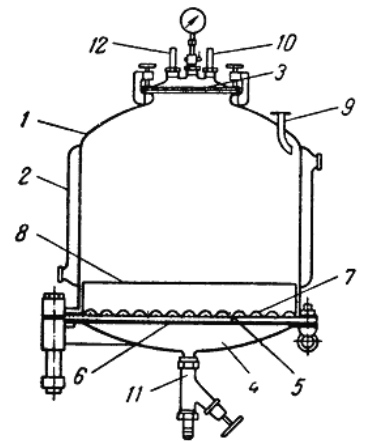
Фильтрование – процесс разделения сред, состоящих из нескольких компонентов, путем пропуска их через пористую перегородку, способную задерживать взвешенные частицы и пропускать жидкость или газ.

Движущей силой фильтрации является создаваемая тем или иным способом разность давлений под осадком и под пористой перегородкой. В зависимости от способа создания движущей силы различают: вакуум-фильтры; фильтры, работающие под давлением. Существуют фильтры, в которых используют одновременно повышенное давление перед фильтрующей перегородкой и вакуум за ней. В качестве фильтрующих элементов используются хлопчатобумажные (бязь, диагональ), искусственные (капрон, нейлон) и шерстяные ткани, плетеные и штампованные металлические сетки, песок, гравий и пористые керамические материалы.

Нутч-фильтры (рис. 13) представляют собой наиболее простой фильтр периодического действия, работающий под вакуумом или давлением. Нутч изготавливается в виде прямоугольного или круглого открытого резервуара с плоским или выпуклым дном, под которым находится ложное дно, предназначенное для поддержания горизонтальной фильтровальной перегородки.

**Рис. 13 Нутч-фильтр давлением до 3 атм:**

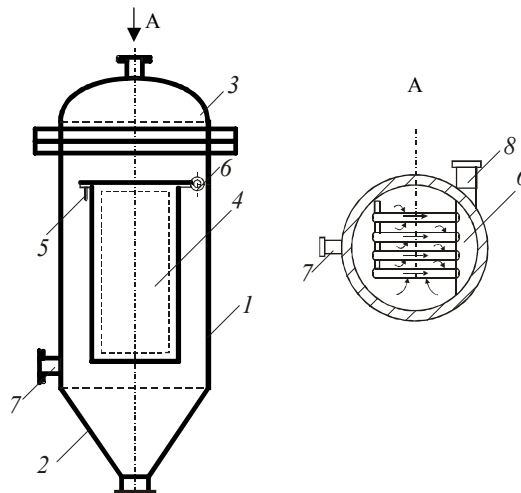
- 1 – корпус; 2 – рубашка; 3 – съемная крышка;  
 4 – перемещающееся дно;  
 5 – фильтровальная перегородка; 6 – опорная  
 перегородка; 7 – защитная сетка;  
 8 – кольцевая перегородка; 9 – штуцер для  
 подачи суспензии; 10 – штуцер для  
 подачи сжатого воздуха; 11 – штуцер для  
 удаления фильтрата;  
 12 – предохранительный клапан



Твердая фаза суспензии задерживается на перегородке, а жидкая фаза проходит через нее и удаляется из нутча. Нутч состоит из корпуса 1, съемной крышки 3 и перемещающегося дна 4. Фильтровальная перегородка 5, расположенная на опорной перегородке 6, представляет собой ткань или слой волокон (в последнем случае под перегородкой помещают сетку 7). Над фильтровальной перегородкой находится кольцевая перегородка 8 высотой 150 мм, поддерживающая осадок во время его выгрузки. Обе перегородки укреплены на дне нутча, которая для удаления осадка опускается и поворачивается на такой угол, чтобы осадок можно было снять вручную. Для подачи суспензии и сжатого воздуха служат штуцеры 9 и 10, для удаления фильтрата – штуцер 11, фильтр снабжен также предохранительным клапаном 12. Фильтр работает под давлением не более 3 ат. Достоинства: простота конструкции, возможность равномерной и полной промывки. Недостатки: ручная выгрузка, относительно большая площадь помещения, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> поверхности фильтрования.

В настоящее время эти фильтры используются для разделения суспензий в производствах малой мощности.

Листовые фильтры относятся к работающим под давлением аппаратам периодического действия. Особенностью этого фильтра является большая поверхность фильтрования, чем у нутча. Это достигается размещением вертикальных фильтровальных листов на небольшом расстоянии друг от друга. Существует несколько конструкций листовых фильтров. Рассмотрим вертикальный фильтр с прямоугольными листами (рис. 14).



**Рис. 14 Вертикальный фильтр с прямоугольными листами**

Фильтр состоит из цилиндрического резервуара 1 с коническим днищем 2, съемной крышки 3, плоских фильтровальных листов 4, опирающихся на планку, и коллектора для фильтрата 6. Суспензия поступает в фильтр по штуцеру 7, жидкая фаза ее проходит внутрь фильтровальных листов, собирается в коллекторе и в виде фильтрата уходит через штуцер 8, твердая фаза накапливается в виде осадка на внешней поверхности фильтровальных листов, сбрасывается с нее обратным толчком сжатого воздуха или воды и удаляется из аппарата по штуцеру 9.

По сравнению с фильтр-прессом описанный фильтр обеспечивает лучшую промывку. К недостаткам этих фильтров относятся: трудность контроля толщины осадка, необходимость перемешивания

суспензии путем ее циркуляции для предотвращения осаждения твердых частиц и несколько сложная замена ткани.

Патронные фильтры, как и листовые, относятся к аппаратам периодического действия, работающим под давлением. По принципу действия листовые и патронные фильтры в основном аналогичны, но вместо плоских фильтровальных листов в патронном фильтре используются цилиндрические фильтровальные патроны, устанавливаемые в вертикальном положении в цилиндрическом кожухе с коническим дном и съемной крышкой.

Фильтровальный патрон в Патрон состоит из пористых центральную трубу 2 с ными ребрами 4. В процессе последовательно проходит осадка, стенки колец 1 и ному проходу 6 уходит из фильтра. Для изготовления пористые различные стекло или керамика). сравнению с листовыми поверхности фильтрация равновеликой плоской поверхности. При этом относительная производительность цилиндрической поверхности возрастает с увеличением толщины осадка.

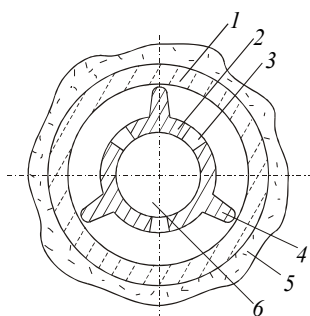


Рис. 15 Фильтровальный патрон в разрезе

поперечном разрезе показан на рис. 15. колец 1, нанизанных на закрытую снизу радиальными отверстиями 3 и продоль-разделения суспензий фильтрат через слой 5 уже образовавшегося отверстия 3, после чего по вертикаль-патрона в коллектор и удаляется из патрона могут быть использованы материалы (в частности, пористое Преимущество патронных фильтров по состоит в том, что у цилиндрической производительность больше, чем у

Фильтр-прессы с горизонтальными камерами, автоматизированные (ФПАКМ). Такой фильтр является аппаратом периодического действия, работающим под давлением. В этом аппарате удачно объединены преимущества других фильтров. Его можно рассматривать как ряд прямоугольных нутчей небольшой высоты и особой конструкции, размещенных вплотную один над другим, вследствие чего поверхность фильтрования получается большой по отношению к площади, закрепляемой фильтром. Рассматриваемый фильтр-пресс предназначен для разделения топподисперсных суспензий при концентрации твердой фазы 10...50 кг·м<sup>-3</sup> и температуры до 800 °С. Фильтровальные плиты этого фильтра показаны в разрезе на рис. 16.

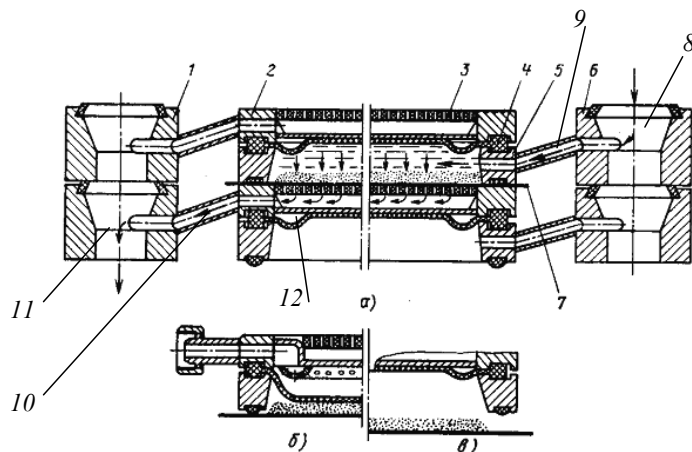


Рис. 16 Фильтровальные плиты ФПАКМ:  
а – фильтрование и промывка; б – отжим; в – выгрузка осадка

Верхняя часть 1 каждой плиты покрыта перфорированным листом 2, под которым находится пространство для приема фильтра 3. Нижняя часть, выполненная в виде рамы 4, образует при сжатии плит камеру 5 для суспензий и осадка. Между верхней и нижней частями фильтровальных плит расположены эластичные водонепроницаемые диафрагмы 6. Фильтровальная ткань 7 размещается на перфорированном листе 2.

В периоды фильтрования, промывки осадка и его продувки в камеру 5 из коллектора 8 по каналам 9 последовательно поступают суспензия, свежая промывная жидкость и сжатый воздух. При этом фильт-



рат, отработавшая промывная жидкость и воздух при атмосферном давлении, отводятся из фильтра по клапанам 10 в коллектор 11, затем осадок отжимается диафрагмой 12, по каналам 13 подается вода под давлением. После отжатия осадка плиты раздвигаются, образуя щели, через которые осадок удаляется из фильтра.

Схема действия автоматизированного фильтр-пресса с горизонтальными камерами показана на рис. 17.

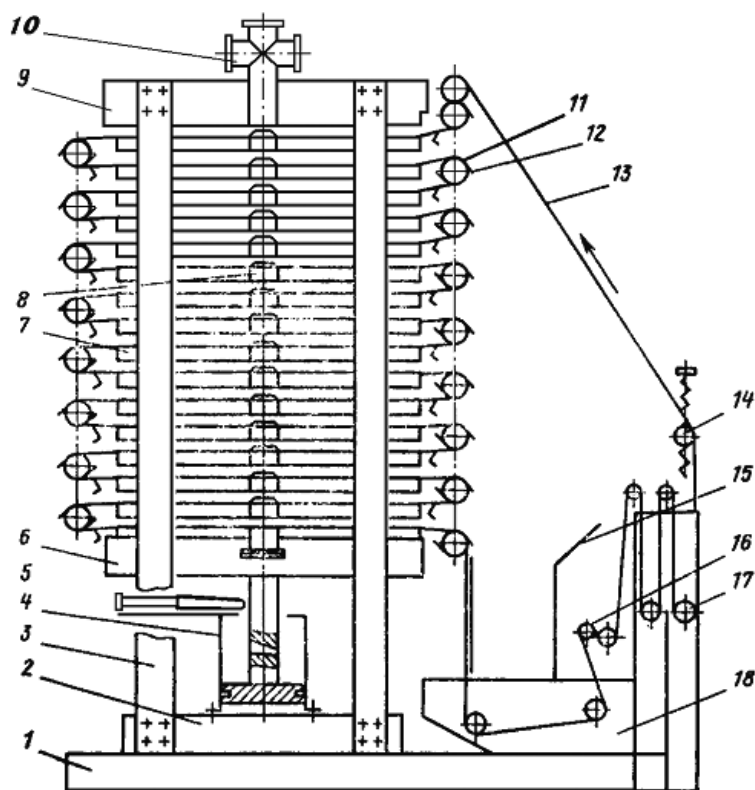


Рис. 17 ФПАКМ

Он состоит из горизонтально расположенных одна над другой описанных выше фильтровальных плит. Эти плиты находятся между двумя крайними опорными плитами, которые связаны одна с другой четырьмя вертикальными стержнями, воспринимающими нагрузку при действии давления внутри камер. Плиты сжимают с помощью механизма зажима. Между плитами при помощи направляющих роликов протянута фильтровальная ткань, которая имеет вид бесконечной ленты и поддерживается в натянутом состоянии. Лента приводится в движение механизмом. Съем осадка при движении ленты выполняют ножи по обе стороны фильтр-пресса. После снятия осадка лента проходит камеру регенерации. Фильтр полностью автоматизирован и механизирован, что позволяет быстро настраивать его на оптимальный технологический режим. Основными преимуществами этих фильтр-прессов, кроме их полной автоматизации, являются развитая поверхность фильтрования, возможность при помощи диафрагмы регулировать толщину и влажность осадка и хорошие условия для регенерации ткани в процессе работы фильтра.

## 1.8 ФИЛЬТРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

В фильтрах непрерывного действия автоматически чередуются операции: фильтрация, сушка, промывка, разгрузка и регенерация фильтрующей ткани. Однако эти операции проходят непрерывно и независимо одна от другой в каждой зоне фильтра, поэтому процесс работы фильтра протекает непрерывно.

Фильтры непрерывного действия различают по форме фильтрующей перегородки и подразделяют на барабанные, дисковые, ленточные.

К недостаткам этих фильтров относятся их относительная сложность, высокая стоимость, необходимость установки вспомогательного оборудования и большой расход энергии.

Ленточный фильтр. Рассмотрим ленточный фильтр, работающий под вакуумом.

Опорная резиновая лента с прорезями и бортами перемещается по замкнутому пути при помощи приводного и натяжного барабанов. Фильтровальная ткань в виде бесконечной ленты прижимается к опорной резиновой ленте при натяжении роликами. Суспензия поступает на фильтровальную ткань из лотка, а промывная жидкость подается на образовавшийся осадок из форсунок. Фильтрат под вакуумом отсасывается в камеры, находящиеся под опорной резиновой лентой, и через коллектор отводится в сборник. Промывная жидкость отсасывается в камеры и через коллектор уходит в другой сборник.

На приводном барабане фильтровальная ткань отходит от резиновой ленты и огибает ролик, при этом осадок отделяется от ткани и падает в бункер. На пути между роликами ткань промывается и очищается щетками. Усовершенствованной моделью является ленточный фильтр, работающий под давлением. Он может работать под незначительным давлением, так как корпус выполнен с плоскими стенками.

Барабанные фильтры являются аппаратами непрерывного действия. Наибольшее распространение получили вакуумные барабанные фильтры с наружной фильтрующей поверхностью (рис. 18).

Преимущества ленточных фильтров: отсутствие распределительной головки, возможность осаждения крупных частиц, удобство промывки, возможность работы с тонким слоем осадка.

Недостатки: малая поверхность фильтрации, требуется равномерная подача суспензии.

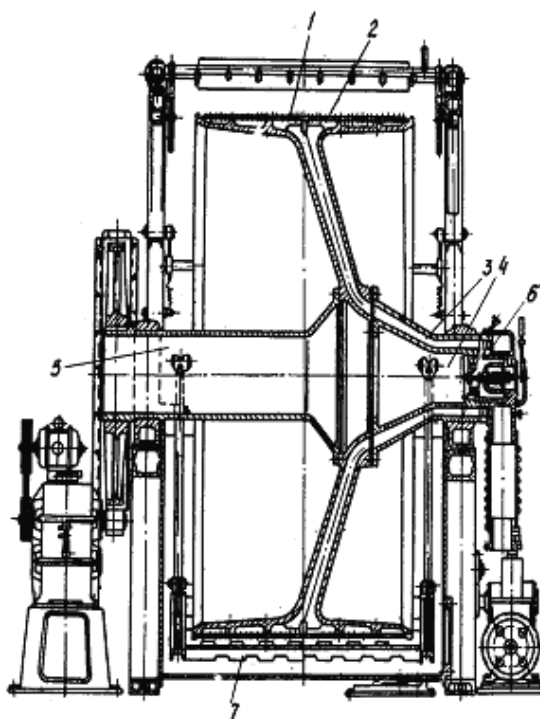


Рис. 18 Ячейковый барабанный вакуум-фильтр с наружной поверхностью фильтрации:

1 – барабан; 2 – ячейка; 3 – соединительная труба; 4 – цапфа полая; 5 – вал;  
6 – распределительное устройство; 7 – мешалка маятниковая

Продольный разрез фильтра показан на рис. 19. Основными элементами конструкции данного фильтра являются: полый барабан 1 с перфорированной цилиндрической поверхностью, разделенный на ячейки 2, которые образованы внутренними прямоугольными перегородками и сообщаются с помощью соединительных трубок 3 с распределительным устройством 6. Посредством соединительных трубок барабан крепится к полый цапфе 4, которая жестко соединяется с полым валом 5, передающим ему крутящий момент от привода. Барабан частично погружен в резервуар с суспензией (степень погружения – 0,3...0,5), где для предотвращения осаждения твердых частиц медленно качается маятниковая мешалка 7. Перфорированный металлический барабан покрывается сверху фильтрующей тканью.

Работа фильтра осуществляется следующим образом: суспензия подается в поддон 1, где ее уровень поддерживается постоянным. Процесс фильтрации осуществляется в четырех зонах по ходу вращения барабана 2. в зоне сектора 1 происходит фильтрация под вакуумом через ткань на барабане с одновременным отложением осадка на ней. В зоне сектора 2 осадок подсушивается вследствие того, что за-

сасываемый в секцию воздух увлекает с собой влагу из осадка. В зоне сектора 3 проводят промывку осадка путем орошения его водой или другой промывной жидкостью. В зоне сектора 4 производят отдувку и разрыхление осадка сжатым воздухом, поступающим внутрь секции и очистку от осадка.

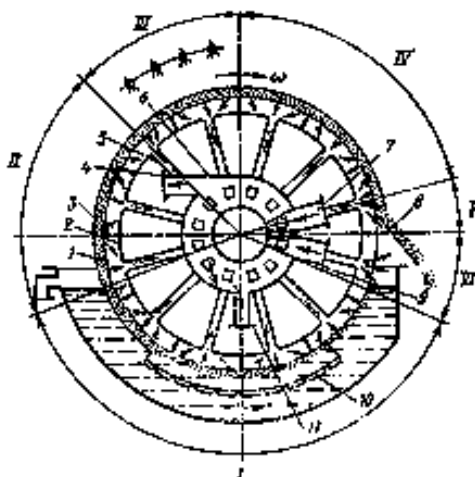


Рис. 19 Схема работы барабанного вакуум-фильтра с наружной поверхностью фильтрования (сечение по распределительной головке совмещено с сечением барабана):  
 I – зона фильтрования; II – зона первого обезвоживания; III – зона промывки;  
 IV – зона второго обезвоживания; V – зона удаления осадка;  
 VI – зона регенерации ткани

Схема устройства распределительной головки приведена на рис. 20. В головке имеются прикрепленный к барабану подвижный диск 1 и неподвижный диск 2. Отверстия в подвижном диске сообщаются с камерами барабана, а отверстия в неподвижном диске – с соответствующими трубопроводами, по которым отводятся фильтрат и промывная жидкость и подводится сжатый воздух для отдувки осадка и очистки фильтрующей ткани. Каждое отверстие подвижного диска при вращении последовательно сообщается с отверстиями неподвижного диска, в каждой камере за один оборот барабана осуществляются все стадии процесса.

Дисковый вакуум-фильтр (рис. 21) отличается от барабанного тем, что его фильтрующая поверхность выполняется из полых дисков 2, посаженных на общий полый вал 1. Диски состоят из отдельных секторов,

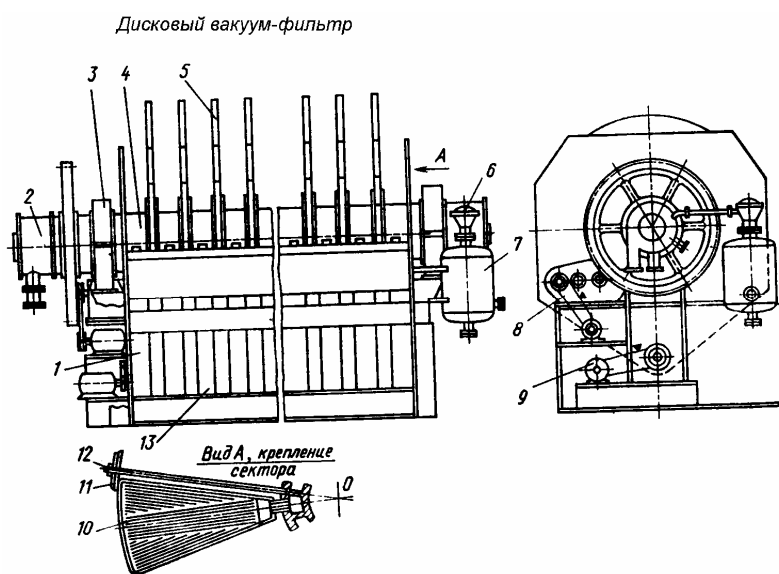


Рис. 21 Дисковый вакуум-фильтр

укрепленных на валу накладками и стяжными шпильками. Каждый сектор представляет собой коробку с перфорированными стежками. В узкой части сектора имеется патрубок, непосредственно примыкающий к валу. Внутренняя полость каждого сектора через патрубок соединена с каналом в цапфе вала.

На одной из цапф монтируется распределительная головка, аналогичная по устройству распределительной головке барабанных вакуум-фильтров. В процессе фильтрования на боковой поверхности дисков откладывается осадок, который после просушки сжимается ножами.

По сравнению с барабанными фильтрами дисковые более компактны, но в них затруднена промывка осадка, так как увлажненный осадок легко сползает с вертикальной поверхности дисков.

## 1.9 ВЫБОР ТИПА ФИЛЬТРА

Разработка аппаратного оформления и выбор необходимого типа фильтра проводятся на основе предварительного анализа физико-химических свойств разделяемой суспензии, образующегося осадка и фильтрата, технологических требований, предъявленных к процессу разделения (непрерывный и периодический процесс, требуемая производительность, основной продукт разделения, дальнейшая переработка осадка, состав суспензии, осадка и фильтрата, температура суспензии и промывной жидкости, необходимость применения герметического оборудования).

Так как всесторонних рекомендаций для выбора типа фильтра, учитывающих все перечисленные аспекты, дать невозможно, при предварительном выборе типа фильтра можно ориентироваться на данные табл. 1, учитывающей только некоторые из основных свойств суспензии.

1 К предварительному выбору типа фильтра

Факторы, влияющие на выбор фильтра	Периодического действия				Непрерывного действия		
	нутч	фильтр - прессы	горизонтальные	листовые	барабанные	дисковые	ленточные
Начальная объемная концентрация суспензии, до 0,5 %	1	2	2	2	—	—	—
0,5...1	2...3	1	1	1...2	—	—	—
1...1,5	4	2...3	2...3	3...4	1...2	2	1
Выше 1,5	4	4	4	4	1	1...2	2...3

Воз- мож- ность полу- чения чистого филт- рата	1... 2	1	1	1	3	3	4
Воз- мож- ность про- мывки осадка	4	2	2	3	1	–	2

Пояснения к таблице: 1 – лучшее; 2 – хорошее; 3 – удовлетворительное; 4 – низшее; – – неприемлемость данного фактора.

### 1.10 РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВ

Методика расчетов фильтров зависит от его конструкции и режима работы. Производительность фильтров периодического действия определяется на основе расчета цикла фильтрования. Продолжительность цикла  $t_{ц}$  равна

$$t_{ц} = t_{ф} + t_{пр} + t_{всп},$$

где  $t_{ф}$ ,  $t_{пр}$ ,  $t_{всп}$  – продолжительность операций фильтрования, промывки и подготовительных операций (в том числе могут быть просушка, разгрузка, подготовка к работе и др.).

Производительность  $\Pi_{ц}$  фильтра(ов) за цикл по суспензии

$$\Pi_{ц} = \frac{V}{t_{ц}},$$

где  $V$  – количество подаваемой суспензии,  $\text{м}^3$ .

При известной средней скорости фильтрования, которую следует определять либо на основе кинетических закономерностей процесса, либо на базе опытных данных, вычисляют площадь фильтрования

$$F = \frac{\Pi_{ц}}{\omega},$$

где  $\omega$  – средняя скорость фильтрования,  $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ .

Необходимое количество камер или фильтров определяют по формуле

$$N = \frac{F}{f},$$

где  $f$  – площадь фильтрования камеры (фильтра),  $\text{м}^2$ .

Для непрерывно-действующего барабанного вакуум-фильтра продолжительность полного цикла фильтрования

$$\frac{t_{ц}}{m} = \frac{t_{ф}}{m_{ф}} = \frac{t_{пр}}{m_{пр}},$$

где  $t_{ц}$ ,  $t_{ф}$ ,  $t_{пр}$  – время цикла фильтрования и промывки;  $m$ ,  $m_{ф}$ ,  $m_{пр}$  – число секций общее, фильтрования и промывки соответственно.

Если обозначить через  $F$  ( $\text{м}^2$ ) площадь поверхности фильтрования и через  $q$  ( $\text{м}^3/\text{м}^2$ ) удельную производительность фильтра, то количество фильтрата, полученного за один цикл, составит  $qF$  ( $\text{м}^3$ ), тогда производительность  $\Pi = \frac{qF}{t_{\text{ц}}}$ .

Технологический расчет фильтра включает составление материального баланса процесса фильтрования и определение количества материальных потоков, а также определение:

- соотношения объемов осадка и фильтрата;
- объема осадка на  $1 \text{ м}^2$  поверхности фильтра;
- времени фильтрования;
- скорости фильтрования;
- площади поверхности фильтрования;
- расхода промывной воды и времени промывки осадка.

### 1.11 ЦЕНТРИФУГИ, ИХ НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Одним из распространенных промышленных способов разделения неоднородных жидких систем (суспензии и эмульсии) является центрифугирование, осуществляемое в специальных машинах-центрифугах. В центрифугах процессы отстаивания и фильтрования происходят в поле центробежных сил, которые дают больший эффект разделения, чем силы, действующие в фильтрах. Основным источником возникновения центробежных сил в центрифуге является быстровращающийся ротор (барaban). При вращении ротора и находящегося в нем материала возникает центробежная сила, равная

$$G_{\text{ц}} = \frac{mV^2}{R},$$

где  $m = \frac{P}{g}$  – масса ротора с материалом;  $V = \frac{\pi R n}{30}$  – окружная скорость ротора,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $R$  – внутренний радиус ротора,  $\text{м}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ .

При  $n^2 \approx g$  получим

$$G_{\text{ц}} = \frac{P\pi^2 R^2 n^2}{gR900} = \frac{P\pi^2 n^2 R}{900}.$$

Одним из основных критериев оценки эффективности работы центрифуги является фактор разделения, равный  $\Phi_p = \frac{w^2 R}{g} \approx \frac{n^2 R}{900}$ , где  $w = \frac{V}{R} = \frac{2\pi n}{60}$  – угловая скорость ротора,  $\text{рад}/\text{с}$ ;  $n$  – число оборотов в секунду.

Фактор разделения показывает, во сколько раз центробежное ускорение, развиваемое в данной центрифуге, больше ускорения свободного падения. Чем больше  $\Phi_p$ , тем интенсивнее происходит процесс центрифугирования.

Вторым важным показателем работы центрифуги является индекс производительности  $\Sigma$ , характеризующий разделяющую способность центрифуги

$$\Sigma = F\Phi_p,$$

где  $F$  – площадь цилиндрической поверхности осаждения в роторе,  $\text{м}^2$ .

Центрифуги классифицируются по различным признакам.

По величине фактора разделения центрифуги подразделяются на нормальные ( $\Phi_p < 3500$ ) и сверхцентрифуги ( $\Phi_p > 3500$ ).

По принципу действия центрифуги делятся на отстойные и фильтрующие. Роторы отстойных центрифуг имеют стенку сплошную, а фильтрующих – перфорированную стенку, покрытую фильтровальной сеткой или тканью. Нормальные центрифуги могут быть отстойными и фильтрующими, а сверхцентрифуги – только отстойного типа, используемые для разделения тонкодисперсных суспензий (трубчатые сверхцентрифуги) и эмульсий (жидкостные сепараторы).

Фильтрующие центрифуги применяют для разделения сравнительно крупнодисперсных суспензий, промывки получающихся осадков и для обезвоживания штучных изделий.

Отстойные центрифуги предназначены для плохо фильтрующихся суспензий и эмульсий, а также для разделения суспензий по крупности частиц твердой фазы.

По способу выгрузки осадка из ротора разделяют центрифуги с ручной, ножевой, пневматической, инерционной, гидравлической, шнековой, с пульсирующими или выталкивающими поршнями.

По конструкции опор и расположению оси барабана центрифуги делят на подвесные вертикальные (на колоннах), вертикальные стоячие (с подпертым валом), горизонтальные, наклонные (рис. 22).

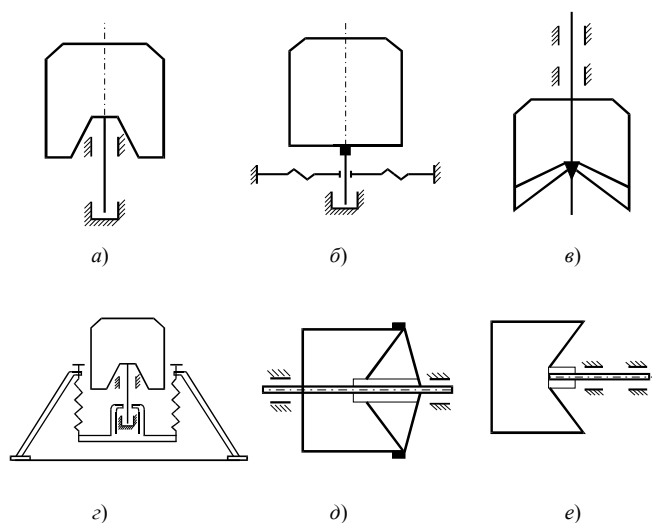


Рис. 22 Схемы расположения ротора и крепления валов роторов:  
*a* – вал подперт в жестких опорах; *б* – вал, подпертый с упругой опорой;  
*в* – висячий вал с верхним креплением опор; *г* – вал, подвешенный на колоннах;  
*д* – горизонтальное крепление; *е* – консольное крепление

## 1.12 КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРИФУГ

Трехколонная (маятниковая) центрифуга. Аппараты этого типа относятся к нормальным отстойным или фильтрующим центрифугам периодического действия. Эти центрифуги изготавливают в двух основных конструктивных исполнениях: ФМБ – с верхней (через борт ротора) выгрузкой осадка и ФМД – с нижней (через днище ротора) выгрузкой осадка. Эти центрифуги применяются для отделения жидкости от механических примесей и разделения средне- и крупнодисперсных суспензий, требующих длительного центрифугирования.

Общим конструктивным признаком маятниковых центрифуг с ручной выгрузкой осадка (рис. 23) является вертикальное расположение оси ротора 3, вал 4 которого вращается в подшипниках качения, расположенных в корпусе привода 2. Станина подвешена на трех тягах с шаровыми шарнирами в колоннах 1, установленных на фундаментной плите 6, что позволяет валу ротора самоустанавливаться и уменьшает динамическую нагрузку на подшипники при возникновении дисбаланса. Привод центрифуги – электродвигатель 5 через клиноременную передачу. Для полной остановки центрифуги предназначен тормоз 7.

Описанная конструкция получила наибольшее распространение и считается стандартной для маятниковых центрифуг с ручной выгрузкой осадка. При работе центрифуги суспензия подается в ротор обычно на ходу машины через питатель. Суспензии высокой концентрации, а также суспензии с абразивной твердой фазой загружаются в неподвижный ротор до пуска центрифуги. Осадок выгружается вручную через борт или днище ротора. Фильтрат и промывной фильтрат выводят из кожуха через сливной патрубок.

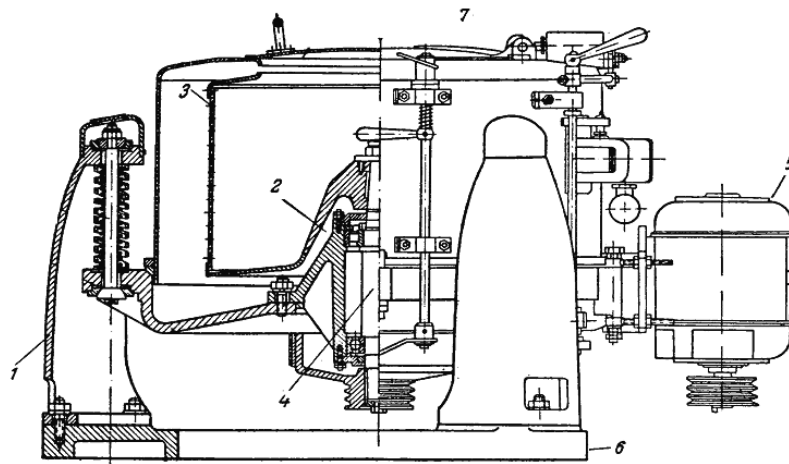


Рис. 23 Маятниковая центрифуга с ручной выгрузкой осадка

Подвесные центрифуги относятся к числу нормальных отстойных или фильтрующих центрифуг периодического действия. Подвесные центрифуги предназначены для разделения тонкодисперсных суспензий небольшой концентрации, что позволяет подавать суспензию непрерывно для получения слоя осадка достаточной толщины.

Несмотря на низкую конечную влажность получаемого осадка и возможность его тщательной промывки, общим недостатком рассмотренных конструкций центрифуг являются непроизводительные затраты энергии и времени, связанные с цикличностью работы машины. Этому недостатка лишены горизонтальные центрифуги с автоматическим наполнением барабана и удалением осадка при рабочей частоте вращения ротора.

Отстойная центрифуга с нижней выгрузкой осадка (рис. 24). Исходная суспензия подается по трубопроводу 1 в ротор 2 со сплошными стенками, укрепленный на нижнем конце вала 3. Верхний конец вала имеет коническую или шаровую опору (часто снабженную резиновой прокладкой) и приводится в действие непосредственно соединенным с ним электродвигателем. Твердая фаза суспензии, поскольку ее плотность больше плотности жидкой фазы, отбрасывается под действием центробежной силы к стенкам ротора и осаждается на них. Жидкая фаза располагается в виде кольцевого слоя ближе к оси ротора и по мере разделения вновь поступающих порций суспензии переливается через верхний край ротора в пространство между ним и неподвижным кожухом 4. Жидкость удаляется из центрифуги через штуцер 5. Для выгрузки осадка поднимают на цепи коническую крышку 6 и проталкивают его вручную между ребрами 7, которые служат для соединения ротора с валом.

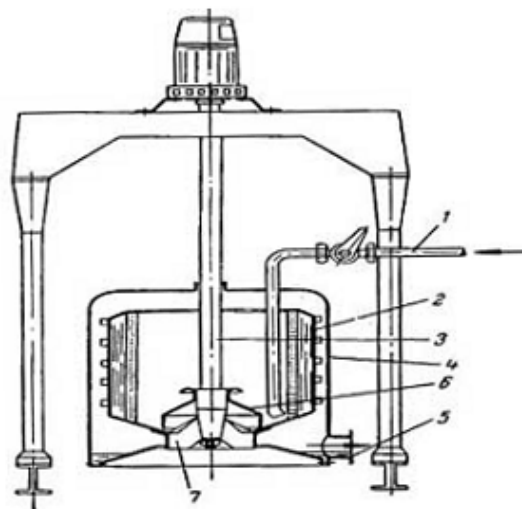


Рис. 24 Отстойная центрифуга с нижней выгрузкой осадка

Горизонтальные центрифуги с ножевой выгрузкой осадка (рис. 25). Фильтрующие центрифуги (ФГН) применяются для разделения суспензий со средне- и мелкозернистой (размер частиц более 30 мкм), преимущественно растворимой твердой фазой, когда допускается дробление частиц осадка. Последнее является их недостатком. Центрифуги со сплошным барабаном применяют для выделения твердого вещества из труднофильтруемых суспензий.



Общий конструктивный признак центрифуг – горизонтальное расположение оси ротора 5, вал 7 которого вращается в подшипниках качения 6, установленных в станине 8. Привод центрифуги осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу. На передней крышке центрифуги смонтирован механизм среза осадка 3, разгрузочный бункер 1, питающая труба 2.

Типовой цикл работы фильтрующих центрифуг состоит из операции фильтрования суспензии с образованием осадка, его промывки, центробежного отжима, выгрузки осадка регенерации фильтрующей перегородки. Основное преимущество центрифуг типа ФГН состоит в возможности проведения всех стадий процесса в автоматическом режиме и при постоянной частоте вращения ротора. К их недостаткам следует отнести измельчение кристаллов при срезе осадка, большие трудности регенерации фильтрующей перегородки при обработке суспензий с нерастворимой твердой фазой.

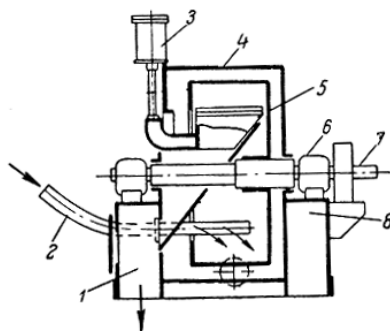


Рис. 25 Горизонтальная центрифуга с ножевой выгрузкой осадка

Центрифуги со шнековым устройством для удаления осадка (рис. 26) являются нормальными отстойными или фильтрующими центрифугами непрерывного действия. Первые распространены шире. Они могут быть с горизонтальным и вертикальным расположением ротора.

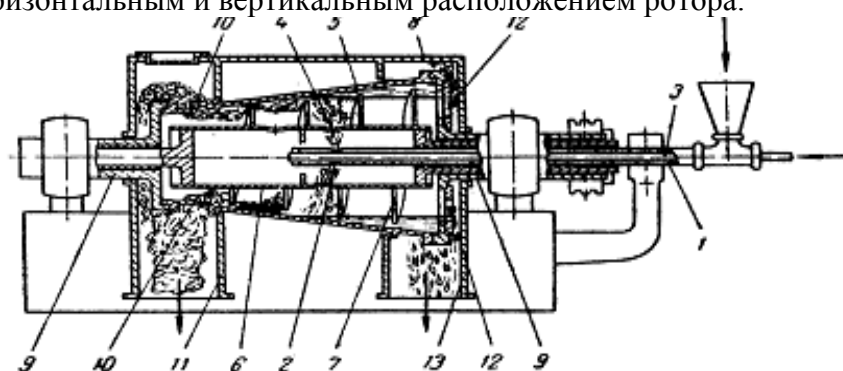


Рис. 26 Центрифуга со шнековым устройством для удаления осадка

Рассмотрим конструкцию осадительной шнековой центрифуги. Центрифуга работает следующим образом. Суспензия поступает через кольцевое пространство между наружной трубой 1 с отверстиями 2 и внутренней трубой 3, предназначенной для подачи промывной жидкости. Через отверстия 4 суспензия поступает в зону между коническим ротором 5 со сплошными стенками и цилиндрическим основанием 6 шнека 7. Ротор находится в кожухе 8 и вращается в цапфах 9. Шнековое устройство вращается в цапфах, находящихся внутри цапф ротора, причем скорость вращения шнекового устройства на 1,5...2 % меньше скорости вращения ротора. Под действием центробежной силы твердые частицы суспензии отбрасываются к стенкам ротора и в виде осадка медленно перемещаются (вследствие разности скоростей вращения ротора и шнека) к отверстию 10 в роторе для выгрузки осадка, который удаляется через камеру 11. Образовавшаяся в результате отстаивания твердых частиц чистая жидкая фаза суспензии в виде фугата отводится через отверстия 12 и камеру 13. При движении в незаполненной суспензией части ротора осадок дополнительно уплотняется, вследствие чего содержание жидкости в нем уменьшается. Осадок может быть промыт в роторе путем подачи промывной жидкости по трубе 3.

Режим работы центрифуги можно регулировать, изменяя продолжительность операций отстаивания и уплотнения путем изменения степени открытия отверстий и числа оборотов ротора и шнека. Центрифуги с выгрузкой осадка шнеком характеризуются высокой производительностью и применяются для разделения тонкодисперсных суспензий с большой концентрацией твердой фазы, а также для классификации твердых частиц по размеру или плотности. Недостатками таких центрифуг являются высокий расход энергии на перемещение осадка и заметное его измельчение.

Центрифуги с пульсирующим поршнем для выгрузки осадка (рис. 27) относятся к фильтрующим центрифугам непрерывного действия с горизонтальным ротором.

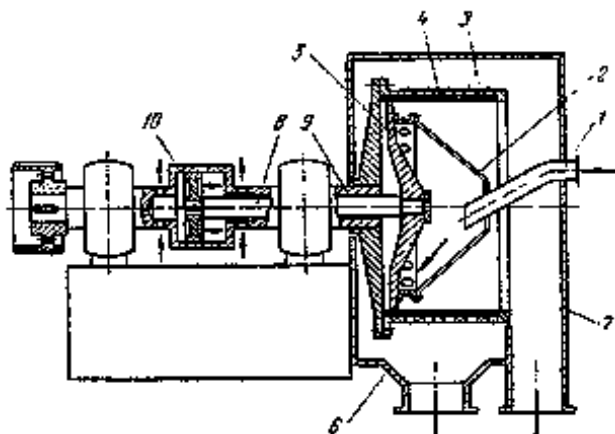


Рис. 27 Центрифуга с пульсирующим поршнем для выгрузки осадка

Суспензия по трубе 1 поступает в узкую часть конической воронки 2, вращающейся с такой же скоростью, как и перфорированный ротор 3, покрытый изнутри металлическим щелевым ситом 4. Суспензия перемещается по внутренней поверхности воронки и постепенно приобретает скорость, практически равную скорости вращения ротора. Затем суспензия отбрасывается через отверстия в воронке на внутреннюю поверхность сита в зоне перед поршнем 5. Под действием центробежной силы жидкая фаза проходит сквозь щели сита и удаляется из кожуха центрифуги по штуцеру 6. Твердая фаза задерживается на сите в виде осадка, который периодически перемещается к краю ротора при движении поршня вправо приблизительно на 0,1 длины ротора. Осадок удаляется из кожуха через канал 7.

Поршень укреплен на штоке 8, находящейся внутри полого вала 9, который соединен с электродвигателем и сообщает ротору вращательное движение. Полый вал с ротором и шток с поршнем и конической воронкой вращаются с одинаковой скоростью. Направление возвратно-поступательного движения поршня изменяется автоматически. На другом конце штока насажен перпендикулярно его оси диск 10, на противоположные поверхности которого в особом устройстве попеременно воздействует давление масла, создаваемое шестеренчатым насосом. Описанная центрифуга применяется для обработки грубодисперсных, легкоразделяемых суспензий, особенно в тех случаях, когда нежелательно повреждение частиц осадка при его выгрузке. К недостаткам ее относят увлечение твердых частиц фугатом в тот момент, когда суспензия попадает на щелевое сито непосредственно после смещения с него осадка поршнем, а также значительный расход энергии поршнем.

### 1.13 СЕПАРАТОРЫ

Во многих пищевых производствах для осветления и разделения жидкостей широко применяются жидкостные сепараторы, работающие по принципу тонкослойного центрифугирования (сепарирования). В быстровращающемся барабане сепаратора процесс естественного отстаивания жидкости интенсифицируется как за счет замены ускорения свободного падения центробежным ускорением, так и за счет рабочей высоты отстойника до межтарельчатого зазора в пакете конических тарелок. Факторы разделения современных сепараторов в пределах 6000...10 000.

По технологическому назначению сепараторы делятся на три класса:

1) *сепараторы-разделители*, применяемые для разделения смеси жидкостей, нерастворимых одна в другой, и для концентрирования или сгущения суспензий и эмульсий;

2) *сепараторы-осветлители*, предназначенные для выделения твердых взвесей из жидкости;

3) *комбинированные сепараторы* служат для выполнения двух или более операций.

Рассмотрим схемы барабанов осветлителя и разделителя (рис. 28). В сепараторе-осветлителе (рис. 28, а) взвешенные частицы, имеющие несколько большую плотность, чем осветляемая жидкость, движутся под действием центробежных сил по направлению к стенке барабана и скапливаются там в виде сгущенного осадка. Осветленная жидкость, пройдя между тарелками, отводится через специальное приспособление и выводится из сепаратора. Осадок удаляется из барабана при периодической его разборке и чистке или путем непрерывного спуска через регулируемые по величине отверстия.

В сепараторе-разделителе (рис. 28, б) тарелки имеют отверстия, образующие в пакете вертикальные каналы, через которые исходный продукт поступает в межтарельчатые пространства. Особенностью конструкции сепараторов-разделителей является наличие разделительной тарелки, установленной между пакетом тарелок и крышкой сепаратора. Эта тарелка имеет ребра, образующие каналы, по которым отводится тяжелая фракция.

При работе сепараторов исходная жидкость подается в барабан, проходит по каналам между основанием и тарелкодержателем и по каналам, образованным отверстиями в тарелках, поступает в пакет тарелок. Под действием центробежной силы происходит разделение жидкости на легкую и тяжелую фракции. По специальным каналам, не смешиваясь, они выводятся из барабана.

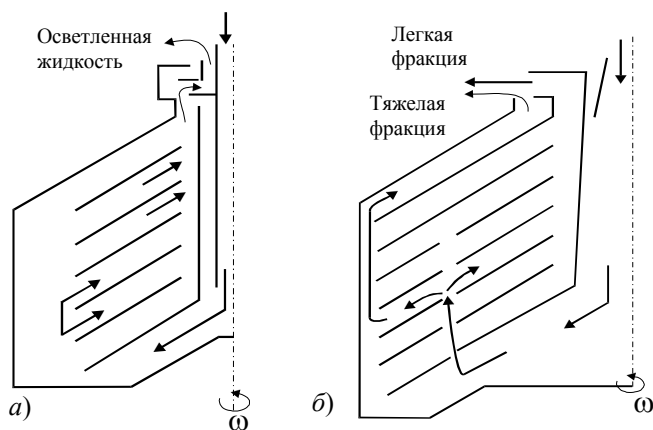


Рис. 28 Схема работа сепаратора-осветлителя (а) и сепаратора-разделителя (б)

По типу барабана различают сепараторы тарельчатые и многокамерные. Барабан тарельчатых сепараторов содержит пакет конических тарелок, которые делят поток обрабатываемой жидкости на ряд параллельных слоев; барабан многокамерных сепараторов имеет комплект концентричных цилиндрических вставок, разделяющих его на кольцевые камеры, по которым обрабатываемая жидкость протекает последовательно.

По способу выгрузки твердой фракции (шлама) из барабана различают сепараторы с ручной и центробежной выгрузкой. Первые могут эффективно использованы лишь при малой исходной концентрации твердых взвесей в сепарируемой жидкости. Преимущества сепараторов с центробежным удалением осадка – увеличение длительности их непрерывной работы и возможность автоматизации процесса сепарирования.

Конструкции механизма разгрузки разнообразны. Иллюстрацией могут служить схемы, показанные на рис. 29.

Последовательность выгрузки осадка из барабана у всех сепараторов одинакова: сначала прекращается подача жидкости, затем открываются щели и осадок под действием центробежной силы удаляется в приемную емкость.

Различают сепараторы открытые, полужакрытые и герметические. В сепараторах открытого типа поступления исходной жидкой смеси, а также отвод жидких фракций происходят открытым потоком. В сепараторах полужакрытого типа подача исходной жидкой смеси, отвод одной или всех жидких фракций происходят под давлением, но процесс сепарирования не изолирован от доступа воздуха. В сепараторах герметического типа от доступа воздуха изолированы как потоки исходной жидкой смеси, жидких

фракций, так и процесс сепарирования.

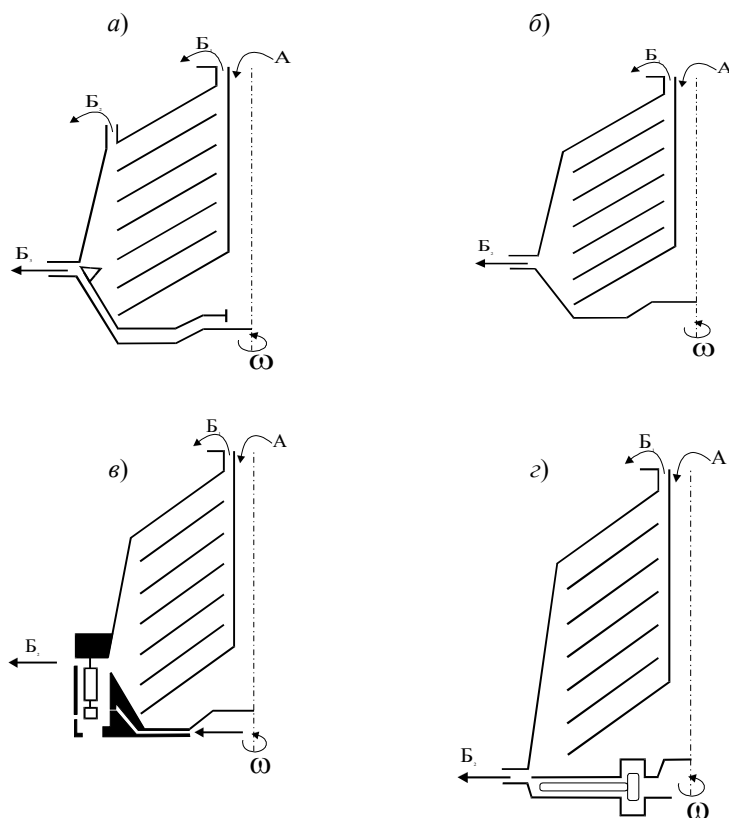


Рис. 29 Конструкции механизма разгрузки:  
*а* – клапанный на три фракции; *б* – с радиальными соплами;  
*в* – с кольцевым поршнем; *г* – с цилиндрическими клапанами

Сепаратор-осветлитель тарельчатого типа с центробежной пульсирующей выгрузкой осадка, изготовляемый в полужакрытом исполнении и предназначенный для очистки показан на рис. 30.

Сепаратор состоит из приводного механизма, барабана 9, приемно-отводящих коммуникаций, приемника осадка. Кроме того, предусмотрены системы управления выгрузкой осадка, пульт управления и приборы КИПа.

В станине 1 смонтированы все основные элементы привода: вертикальный вал 3 и горизонтальный вал, на котором насажено винтовое зубчатое колесо 4, передающее вращение через шестерню вертикальному валу, тахометр. В верхней части станины крепится чаша 6 и приемник осадка 8.

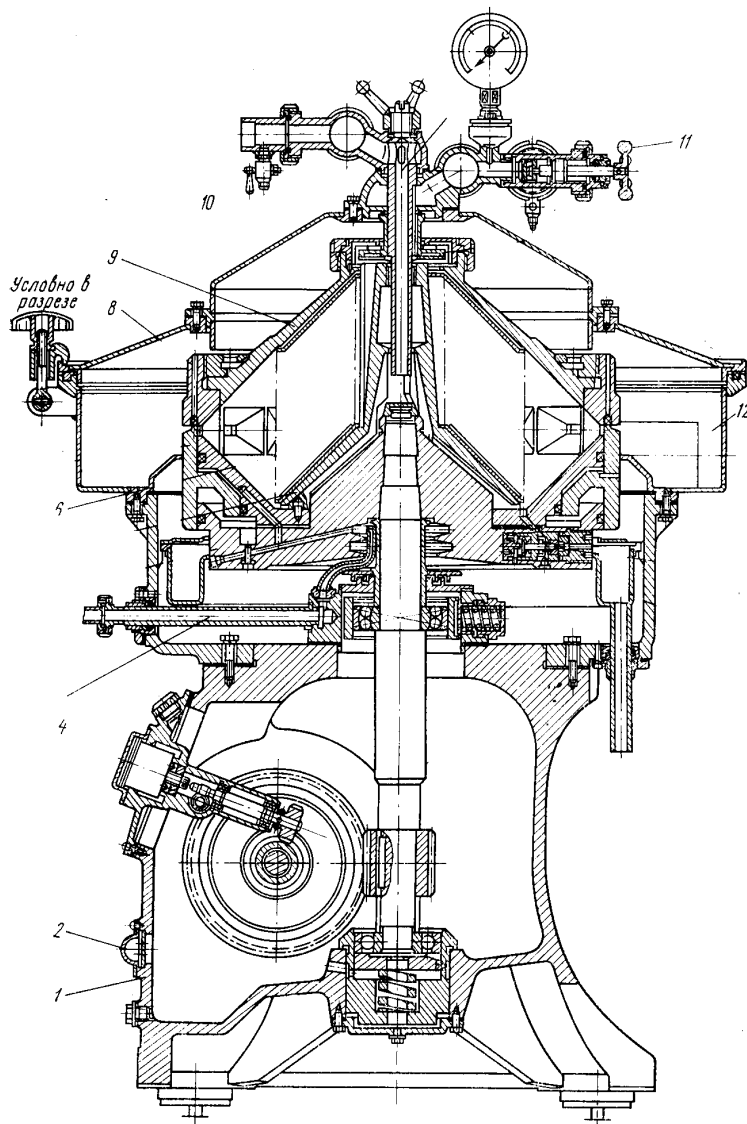


Рис. 30 Сепаратор-осветлитель тарельчатого типа с центробежной пульсирующей выгрузкой осадка

Внутренняя полость станины представляет собой масляную ванну для смазки приводного механизма. Заливное и сливное отверстия для масла закрытые пробками, расположенные соответственно на крышке люка тахометра и нижней части станины. В чаше *б* расположен гидроузел *7*, который предназначен для регулировки выгрузки осадка через разгрузочные щели барабана *9*. Приемно-отводящее устройство *11* служит для подачи исходной суспензии, отвода осветленной фракции из межтарелочных пространств. Осадок удаляется из сепаратора через приемник *8* и циклон *12*. Последний предназначен для погашения скорости выбрасываемого осадка.

#### 1.14 РАСЧЕТ СЕПАРАТОРОВ

Производительность сепараторов должна быть такой, чтобы частицы дисперсной фазы успели осесть на нижнюю поверхность верхней тарелки при выходе из межтарелочного пространства.

Элементарный кольцевой объем разделяющей части барабана, в котором установлен пакет тарелок,

$$dV = 2\pi R d R b z, \text{ м}^3,$$

где  $R$  – радиус элементарного кольцевого цилиндра, м;  $b$  – расстояние между тарелками в осевом направлении барабана, м;  $z$  – число тарелок в данном пакете.

Продолжительность пребывания разделяемой суспензии в данном элементарном объеме барабана

$$dT = \frac{dV}{\Pi} = \frac{2\pi b z}{\Pi} R d R,$$

где  $\Pi$  – производительность сепаратора, м<sup>3</sup>/с.

В направлении, перпендикулярном радиусу барабана, осаждающаяся частица перемещается на расстояние  $dS$ , причем  $dS = VdT$ .

Скорость перемещения частицы на основе закона Стокса (при  $Re_y < 1$ )

$$V = V_0 w^2 R \frac{1}{g},$$

где  $V$  – скорость перемещения частицы, м/с;  $V_0$  – то же, в поле сил тяжести, м/с.

Фактор разделения особенно важен при выборе и сравнении сепараторов различных типов. Так, на практике производительность определяют опытным путем, либо пересчетом. В основу последнего положено соотношение

$$\frac{\Pi_n}{\Pi_i} = \frac{\Phi_n}{\Phi_i},$$

где  $n$  – новый;  $i$  – известный.

Фактическая производительность сепаратора с периодической выгрузкой осадка определяется с учетом времени, затрачиваемого на вспомогательные операции (разгрузка, чистка). То же относится к сепараторам с пульсирующей выгрузкой осадка.

При расчете сепаратора и их подборе возникает необходимость определения некоторых специфических параметров: минимальный размер частиц, выделяемых в сепараторе

$$d_{\min} = \frac{2,93}{w} \sqrt{\frac{\Pi \mu}{z(R_1^3 - R_2^3)(\rho_n - \rho) \operatorname{tg} \alpha}}, \text{ м.}$$

Длительность пребывания продукта в барабане сепаратора  $\tau_6 = \frac{V_6}{\Pi}$ , где  $V_6$  – объем барабана,  $\text{м}^3$ .

На основании последних трех равенств и после интегрирования в пределах от 0 до  $S$  (левая часть) можно получить значение  $S$  в м:

$$S = \frac{V_0 w^2 2\pi b z}{3\Pi g} (R_1^3 - R_2^3).$$

Так же  $\frac{b}{S} = \operatorname{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  – угол наклона тарелок, то

$$\Pi = \frac{2\pi V_0 w^2 z (R_1^3 - R_2^3) \operatorname{tg} \alpha}{3g}.$$

После подстановки значения  $V_0$  из известной формулы Стокса

$$\Pi = \frac{1}{27} \frac{\pi d^2 (\rho_n - \rho) w^2 z (R_1^3 - R_2^3) \operatorname{tg} \alpha}{\mu}.$$

На практике используют поправочный коэффициент  $\beta$ , характеризующий степень отклонения реального процесса сепарирования от теоретического ( $\beta = 0,2 \dots 0,5$ ).

После перегруппировки сомножителей получаем

$$\Pi = \left[ \frac{2}{3} \pi w^2 z (R_1^3 - R_2^3) \operatorname{tg} \alpha \right] \left[ \frac{2}{9} \frac{r^2 (\rho_n - \rho)}{\mu} \right].$$

По указанной методике можно выделить две группы факторов: фактор разделения  $\Phi$  (характеризует конструктивные параметры) и разделяемость  $\tau$  (характеризует свойства жидкости).

## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ И ПОЛУФАБРИКАТОВ МЕТОДОМ СОЕДИНЕНИЯ

Поскольку в процессе формования происходит объединение первоначально разрозненных частиц материала в некоторое единое изделие, к этой категории оборудования относят оборудование для приготовления смесей жидких, сыпучих и тестообразных материалов, а также оборудование для формования.

### 2.1 СМЕШИВАНИЕ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Смешивание – процесс получения однородной композиции двух или нескольких компонентов, направленный на получение однородной смеси. Смешивание достигается в результате оказания некоторого воздействия на среду (чаще всего механического), которое называется перемешиванием.

Процесс смешивания характеризуется двумя основными характеристиками: интенсивностью перемешивания и эффективностью перемешивания. Обычно интенсивность перемешивания оценивается величиной энергии, вводимой в единицу объема смешиваемой среды. Эффективность смешивания оценивается статистическими показателями (например дисперсией, чаще коэффициентом вариации):

$$V = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}{n-1}}$$

Перемешивание сред может преследовать несколько целей: получение однородной смеси двух или нескольких компонентов; интенсификация тепловых процессов; придание специфических пластических свойств среде (пластификация).

## 2.2 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКИХ СРЕД

Для перемешивания жидкостей применяются следующие способы: циркуляционное перемешивание, пневматическое, поточное, механическое.

*Циркуляционное* перемешивание осуществляется путем многократного прокачивания жидкостей через перемешиваемый объем. Интенсивность циркуляционного перемешивания оценивается через кратность циркуляции, которая является отношением величины потока циркулирующей жидкости ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) к объему перемешиваемой жидкости ( $\text{м}^3$ ). Этот способ используется для предотвращения расслаивания эмульсии и суспензии в емкостях – хранилищах, накопительных и расходных емкостях в том случае, когда жидкость не склонна к интенсивному расслаиванию. Этот метод прост, но мало эффективен для расслаиваемых жидкостей.

*Пневматическое* перемешивание осуществляется за счет использования энергии поднимающихся струй и пузырьков газов и паров. Газовую (паровую) фазу вводят обычно в нижнюю часть перемешиваемого объема с помощью специальных устройств (барбатыеры или эрлифтные устройства).

Эрлифтные устройства (рис. 31) представляют собой сопло для струйной подачи газа, которое снабжается дополнительными приспособлениями для формирования циркуляционного контура жидкости – диффузором.

Пузырьки воздуха (струя) к ним слои жидкости, поднимаются, потеряв воздух (частях объема). Таким образом, которые обеспечивают перемешивание зависит от единицу поверхности зеркала необходимо создать для

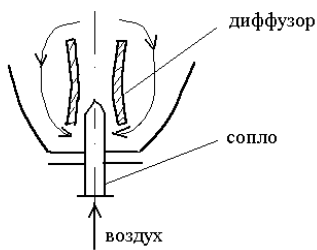


Рис. 31 Эрлифтное устройство

поднимаясь, захватывают прилегающие к их поверхности объема. Далее эти опускаются в периферийных слоях образуются циркуляционные контуры, перемешивание среды. Интенсивность количества газа (пара), подаваемого на жидкости. Давление, которое перемешивания жидкости,

$$\Delta P_{\text{общ}} = \rho g H + \Delta P_{\text{ск}} + \Delta P_{\text{м.сопр}}$$

Достоинства метода: метод прост, имеется возможность осуществления нагрева и охлаждения, параллельное протекание процесса абсорбции.

Недостаток: испарение жидкости.

Оборудование для поточного перемешивания. В оборудовании для поточного перемешивания процесс смешивания потоков компонентов, перекрещенным поточным перемешива-турбулизирующие перемешивания (рис. а) б) осущестляется за счет турбулизации подаваемых либо параллельно, либо способом. Для этого в аппаратах применяются различного рода насадки. Например, аппарат поточного 32).

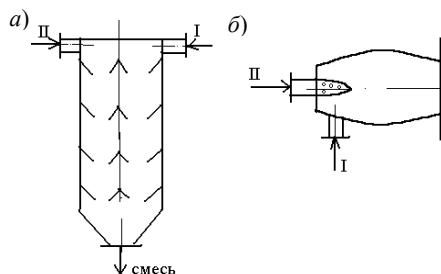


Рис. 32 Колонны насадочные:

а – прямоточного типа; б – инжекторного типа

## 2.3 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ВЯЗКИХ СРЕД

Механическое перемешивание наиболее широко используется не только для перемешивания жидкостей, но и тестообразных и сыпучих материалов. Представляют собой емкости, в которых устанавливается механическое перемешивающее устройство, состоящее из вала, на котором закрепляется мешалка и привода. Эти устройства классифицируются по конструктивному признаку в зависимости от конструкций мешалок (рис. 33).

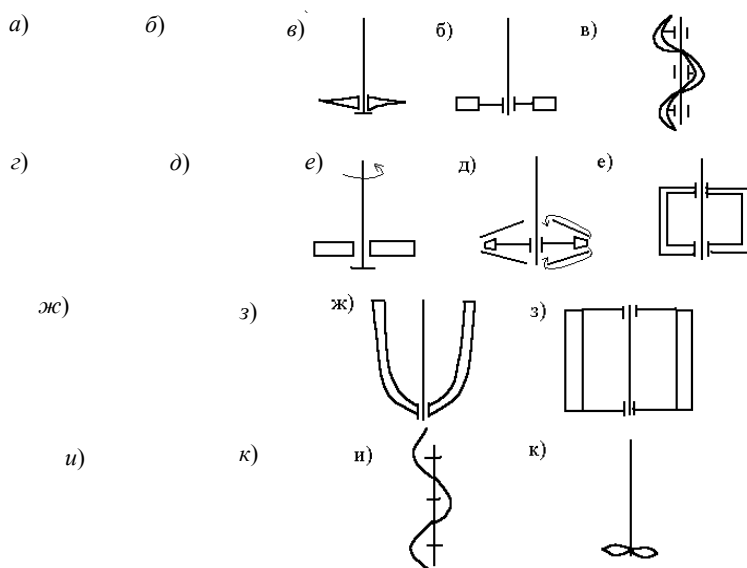


Рис. 33 Некоторые конструкции мешалок:

*a* – винтовая; *б* – турбинная (открытая); *в* – ленточная; *г* – лопастная; *д* – турбинная (закрытая); *е* – рамная; *ж* – якорная; *з* – клетьевая; *и* – шнековая; *к* – пропеллерная

Мешалки можно условно разделить на две группы: быстроходные и тихоходные.

Быстроходные используются для циркуляционного перемешивания жидкостей с малой и средней вязкостью с целью интенсификации диффузионных процессов (растворения, газонасыщения) и теплообмена со змеевиками. Общим отличительным признаком является относительно небольшой их диаметр  $\frac{D_a}{d_m} = 2 \dots 8$ , и относительно большое расстояние между мешалкой и днищем аппарата

$$H = (0,5 \dots 0,8) D_a.$$

К быстроходным мешалкам относятся: лопастная, винтовая, пропеллерная, турбинная. Они представляют собой рабочие органы – лопасти, наваренные на ступицу, которая крепится к валу мешалки.

Лопастная мешалка представляет собой две или более лопастей, плоскости которых параллельны оси мешалки.

В винтовых мешалках лопасти установлены с наклоном к оси, причем угол наклона увеличивается в направлении от оси мешалки. При этом угол атаки по длине винтовой лопасти уменьшается от  $60^\circ$ , у ступицы до  $10 \dots 15^\circ$  в периферийной части лопасти.

Переменный угол атаки обеспечивает более равномерный ввод энергии на перемешивание по длине лопасти. Пропеллерные мешалки можно считать модификацией винтовых для случая перемешивания жидкости с низкой вязкостью. Турбинные мешалки используются для перемешивания жидкости средней вязкости, причем закрытый вариант обеспечивает более высокую интенсивность циркуляционного перемешивания.

Тихоходные мешалки предназначены для перемешивания высоковязких жидкостей обычно в гладкостенных аппаратах (без продольных перегородок) за исключением шнековой, установленной внутри циркуляционной трубы. Используются для интенсификации теплообмена на внутренней поверхности аппаратов, гомогенизации вязких пластичных масс. К такого рода мешалкам относятся якорные, рамные, шнековые, ленточные, клетьевые. Отличительной особенностью этих мешалок является относительно большой их диаметр  $\frac{D_a}{d_m} = 1 \dots 2$  и относительно близкое размещение к днищу аппарата



$H = (0,05...0,25) D_a$ . Они имеют относительно небольшую скорость вращения, но большой размах. Для уменьшения коррозионного и абразивного износа мешалки могут изготавливаться в эмалированном исполнении.

## 2.4 ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЖИДКОСТЕЙ

Чрезвычайно важным этапом при проектировании устройств, является выбор типа мешалки, так как интенсивность и эффективность перемешивания существенно определяется формой лопастей и скоростью вращения мешалки. Мешалка является непосредственно рабочим органом, осуществляющим превращение упорядоченной энергии вращения в распределительную механическую энергию хаотических перемещений микро- и макрообъемов жидкости в рабочем объеме. Таким образом, мешалки обеспечивают диссипацию механической энергии вращения в объеме перемешиваемой среды. Диссипация – рассеяние механической энергии путем превращения.

Выбор типа мешалки зависит от того, какой гидродинамический режим является предпочтительным для перемешиваемой среды. Гидродинамический режим в перемешиваемой среде оценивается критерием Рейнольдса

$$Re_{ц} = \frac{\rho n d_M^2}{\mu},$$

где  $n$  – частота вращения, об/с.

Интенсивность перемешивания оценивается с помощью критерия мощности

$$K_N = \frac{\rho n^3 d_M^5}{N_{пер}},$$

где  $N_{пер}$  – мощность, затрачиваемая на перемешивание.

Взаимосвязь между интенсивностью перемешивания и гидродинамическим режимом в перемешиваемой среде для каждого вида мешалки в определенном диапазоне режимных параметров определяется по критериальной зависимости  $K_N = f(Re_{ц})$ .

Время перемешивания определяется по экспериментальным зависимостям для определенных соотношений геометрических параметров аппарата перемешивающего устройства и с учетом режима перемешивания  $\tau = f(D_a, d_M, Re_{ц}, K_N, V_{вар} \dots)$ .

### 2.4.1 Технологический расчет

Исходные данные: объем аппарата, высота, диаметр; свойства жидкой среды и твердой фазы ( $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\rho_r$ ,  $d_r$  – концентрация), а также специфические технологические требования к перемешиванию (по однородности суспензии, но интенсивности теплообмена и т.д.).

С учетом свойств жидкости и технологических требований выбирают тип мешалки. На основе рекомендаций для выбранного типа мешалки определяют ее  $d$  и высоту ее размещения над днищем, вычерчивают эскиз аппарата с перемешивающим устройством (геометрия определена). На основе рекомендаций по величине окружной скорости данного типа мешалки определяют скорость ее вращения

$$n' = \frac{60V_{окр}}{\pi d_M}.$$

Вычисляют критерий  $Re$ , характеризующий гидродинамическую обстановку,

$$Re_{ц} = \frac{\rho n d_M^2}{\mu}.$$

Определяют мощность, затрачиваемую на перемешивание  $N_{пер} = \rho n^3 d_M^5 K_N$ . Коэффициент мощности определяется как функция  $K_N = f(Re_{ц})$  с использованием либо критериальных зависимостей, либо соответствующих графиков.

Осуществляют выбор и расчет привода мешалки

$$N_{\text{прив}} = \frac{N_{\text{пер}} + N_{\text{уплот}}}{\eta},$$

где  $N_{\text{уплот}}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление трения в уплотнении;  $\eta = 0,95 \dots 0,97$

## 2.4.2 Механический расчет

Выбирают электродвигатель с учетом необходимой мощности и скорости вращения мешалки. Осуществляют выбор редуктора. Выполняют расчет вала мешалки. Диаметр вала можно определить приблизительно по формуле

$$d_{\text{в}} = 1,713 \sqrt{\frac{M_{\text{кр}}}{[\tau_{\text{ср}}]}},$$

где  $M_{\text{кр}}$  – крутящий момент;  $[\tau_{\text{ср}}]$  – дополнительное напряжение на кручение.

$$M_{\text{кр}} = \frac{30N}{\pi n}.$$

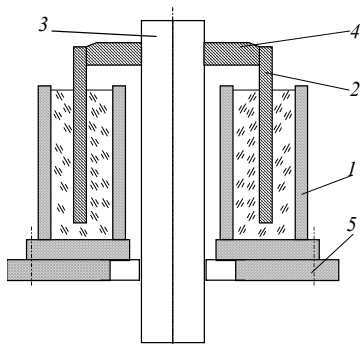
При уточненном расчете вала выполняют проверку на жесткость и виброустойчивость.

## 2.5 УПЛОТНЕНИЯ ВАЛОВ

Валы рабочих органов машин и аппаратов, привод которых расположен снаружи рабочего объема, снабжаются уплотняющими устройствами. Уплотняющие устройства предназначены для изолирования рабочего объема от внешней среды с целью предотвращения натекания атмосферного воздуха, загрязнений рабочей среды и утечке в окружающую среду.

Различают следующие виды уплотнений: сальниковые, торцевые, гидрозатворы, лабиринтные.

Аппараты с перемешивающими устройствами для жидкости, а также с другими встроенными устройствами, имеющими привод за пределом рабочего объема, снабжаются уплотнительными устройствами, среди которых наиболее распространены гидрозатворы, сальниковые, торцевые и лабиринтовые уплотнения.



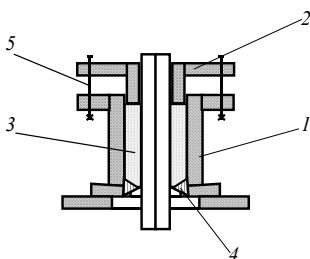
**Рис. 34 Гидрозатвор:**

1 – корпус-карман; 2 – колпачок; 3 – вал;  
4 – втулка; 5 – корпус аппарата

Гидрозатвор представляет собой уплотнительный узел, который предназначен для предотвращения контакта рабочей, обычно газовой, среды с атмосферным воздухом. Гидрозатвор представляет собой гидравлический карман, который заполняется жидкостью со свойствами, нейтральными по отношению к рабочей среде. Конструкция затвора (рис. 34) состоит из неподвижного цилиндрического корпуса, внутрь которого вставлен цилиндрический колпачок, закрепленный жестко на валу и образующий некоторый минимальный зазор с корпусом. В корпус заливается запирающая жидкость, которая при выбранной величине затвора надежно герметизирует рабочий объем. В связи с изложенным гидрозатворы широко используются в микробиологических производствах в связи с повышенными требованиями по герметичности рабочего объема. Основным недостатком гидрозатворов

заключается в том, что они могут работать только при весьма малых перепадах давлениях, практически, в отсутствии их.

Сальниковые уплотнения (сальники). Различают сальники с мягкими и твердыми уплотняющими набивками. Сальник является ответственным узлом аппарата, требующим постоянного наблюдения и ухода. Сальник (рис. 35) состоит из корпуса, грундбуксы (упорного кольца), нажимной втулки, сальниковой набивки и затягивающих шпилек. Уплотнение вала достигается за счет притяжения набивки к валу. Грундбукса имеет зазор с валом, равный 0,5 мм. Нажимная втулка имеет зазор с валом в 1...1,5 мм. Втулка и грундбукса изготавливаются из чугуна. Для уменьшения величины зазора "втулка – вал" втулка изготавливается из бронзы и может служить подшипником скольжения совместно с вкладышем и системой смазки.



**Рис. 35 Сальниковое уплотнение:**

1 – корпус; 2 – втулка нажимная;  
3 – сальниковая набивка; 4 – кольцо упорное (грундбукса); 5 – шпилька

Сальники без устройств для охлаждения работают при температуре  $-20...70\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлениях  $0,04...0,6\text{ МПа}$ . Скорость вращения вала  $5...300\text{ мин}^{-1}$ . При подводе охлаждающей жидкости и смазки к сальнику рабочий диапазон расширяется до  $0,003...2,5\text{ МПа}$ .

В качестве сальниковых набивок используются хлопчатобумажные, пеньковые, асбестовые материалы, фторопласт, а также композиционные материалы.

Сухие набивки, например из асбеста, имеют термостойкость до  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , фторопластовая набивка имеет термостойкость до  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для повышения герметичности и снижения коэффициента трения сальника набивочный материал подвергают пропитке салом, парафином, битумом, графитом, вязким и т.д.

Из всех сальниковых набивок следует особо выделить фторопласт, как материал, имеющий высокую термостойкость, малый коэффициент трения и высокую агрессивную стойкость. Основным недостатком фторопластовой набивки – это ее высокая жесткость, требующая больших усилий сдавливания и высокая стоимость. Сухие набивки являются проницаемыми для уплотняемой среды вследствие их пористости даже при высоких давлениях.

Для нормальной работы сальника необходимо, чтобы давление прижатия дальних от втулки слоев набивки к валу равнялось давлению уплотняемой среды в аппарате.

Целью расчета является определение усилия трения вращающегося вала деформируемым телом, в набивке напряжения не

$$P_x = \frac{P_y}{m},$$

где  $m=1,5...5$  в зависимости от материала набивки. Усилие  $P_y$  (рис. 36)

$$P_y = P_0 e^{\frac{2fy}{s}},$$

где  $P_0$  – давление в аппарате;  $f$  – коэффициент трения.

Из этой зависимости следует, что давление в набивке равно давлению в аппарате. В таких условиях имеет место оптимальный режим работы сальникового уплотнения.

При  $y = h$   $P_y = P_0 e^{\frac{2fh}{s}}$ .

Усилие затяжки шпилек  $F$  определяется следующим образом

$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) P_0 e^{\frac{2fh}{s}}.$$

Потери мощности  $N_{тр}$  на трение в сальниковом уплотнении

$$N_{тр} = T \frac{\pi d n}{60},$$

где  $T = \int_0^h \pi f d P_x dy = \int_0^h \pi d \frac{\mu}{m} P_0 e^{\frac{2fy}{s}} dy$  – суммарная сила трения.

Мощность, затраченная на преодоление сил трения в сальнике, является сложной функцией и зависит от ряда параметров, среди которых следует отметить большое влияние скорости вращения и диаметра вала. В связи с этим рекомендуется пользоваться эмпирической формулой для расчета мощности

$$N_{тр} = 0,025 n d^2 P_0 s k,$$

где  $k$  – параметр, зависящий от соотношения  $\frac{h}{s}$  (см. табл. 2).

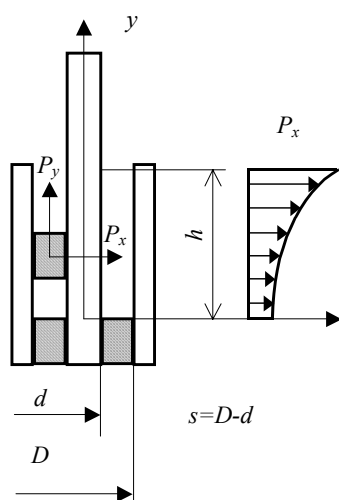


Рис. 36 К расчету сальникового уплотнения

сальникового уплотнения является сдавливанием набивки и потерь на трение. Сальниковая набивка является твердым телом, в связи с чем во внутренних слоях она равна, т.е.  $P_x \neq P_y$ . Обычно принимают

от материала набивки. Усилие  $P_y$  определяется по формуле

аппарате;  $f = \frac{\mu}{m}$ ;  $\mu$  – коэффициент трения.

следует, что при  $y = 0$   $P_y = P_0$ . Этот факт торцевой поверхности набивки около давления в аппарате. На торцевых поверхностях

## 2 К расчету сальникового уплотнения

$\frac{h}{s}$	5	6	7	8	9	10	12
$k$	0,65	0,83	1,02	1,27	1,58	1,7	2,34

В торцевых уплотнениях герметичность обеспечивается за счет плотного прижатия торцевых поверхностей двух деталей. Одна из деталей при этом вращается вместе с валом, а другая является неподвижной. Чаще всего торцевые поверхности являются плоскими, однако, они могут быть и сферическими и конусными.

Герметичность такого уплотнения может быть обеспечена только за счет хорошего взаимного прилегания поверхностей при высокой частоте их обработки. Поверхности подвергаются шлифовке и притирке, поскольку неровности, превышающие 1 мкм, нарушают нормальную работу уплотнения.

Для того, чтобы обеспечить притирку поверхностей, ширина полосы (кольца) контакта поверхностей обычно не превышает 6...8 мм.

Простейшие торцевые уплотнения представлены на рис. 37. Подвижное кольцо получает вращение от вала. Неподвижное кольцо либо крепится к корпусу уплотнения 6 пружиной 3 (вариант I на рис. 37), либо упирается в корпус через сильфон 4 (вариант II на рис. 37). Поджатие подвижного и неподвижного колец осуществляется либо с помощью сильфона, либо пружины.

Валы с большой скоростью вращения и большого диаметра имеют, как правило, торцевые уплотнения с охлаждением путем непосредственной подачи хладагента в зону трения колец.

Основным узлом торцевого уплотнения является пара трения. Материалы, из которых она изготавливается, должны обладать износостойкостью и малым коэффициентом трения. Обычно используются следующие материалы: кислотостойкая сталь – для одного кольца, углеграфит, бронза, фторопласт – для другого кольца. Фторопласт, в связи с его высокой хладотекучестью, применяется при невысоких скоростях в паре трения и небольших рабочих давлениях.

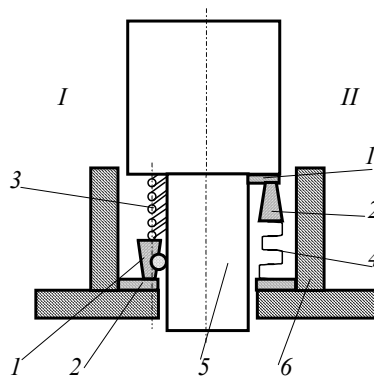


Рис. 37 Варианты конструктивного исполнения торцевых уплотнений:

1 – кольцо подвижное; 2 – кольцо неподвижное; 3 – пружина; 4 – сильфон;  
5 – вал; 6 – корпус уплотнения

Торцевые уплотнения могут быть внутренними и внешними, одинарными и двойными (по существу два последовательных одинарных уплотнения). Обычно они работают в диапазоне давлений 0,002...3,2 МПа, температурах до 280 °С и частоте вращения вала до 500 и более оборотов в минуту.

Достоинства торцевых уплотнений заключаются в высокой герметичности, малых потерях на трение (приблизительно в 6...8 раз меньше чем в сальниках), простоте обслуживания.

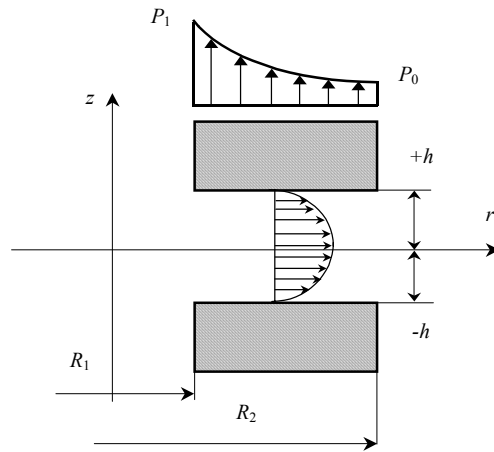


Рис. 38 К расчету торцевого уплотнения

Целью технологического расчета уплотнения является определение утечек через уплотнение и сравнение их величины с допустимыми. Расчетная схема представлена на рис. 38.

Расчет утечек основан на допущении, что ширина зоны контакта колец в торцевом уплотнении намного меньше радиуса кольца, т.е.  $\frac{R_2 - R_1}{R_1} \ll 1$ . Значит, можно принять, что скорость среды в зазоре

$\frac{\partial V}{\partial r} = 0$ . Течение среды в зазоре будет описываться уравнением

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \mu \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}$$

при граничных условиях

$$z = h, V = 0, r = R_1, p = P_1;$$

$$z = -h, V = 0, r = R_2, p = P_0,$$

где  $P_1, P_0$  – давление атмосферное и в аппарате соответственно.

После интегрирования дифференциального уравнения с учетом граничных условий находят зависимость дифференциального  $V = V(P, z)$  и выражают из нее величину утечки  $G$

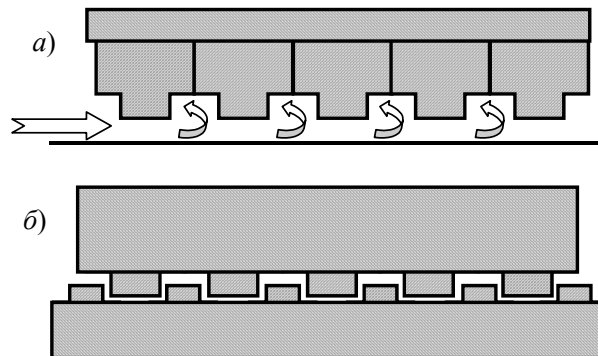


Рис. 39 Лабиринтные уплотнения:  
а – прямоточное; б – ступенчатое

$$G = \frac{4\pi h^3 (P_1 - P_0)}{3\mu \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)},$$

где  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости.

Очевидно, что величина утечки существенно зависит от скорости вращения вала. Предыдущее выражение, полученное для статических условий, дополняется членом, учитывающим влияние инерционных (центробежных) сил

$$G = \frac{4\pi h^3}{3\mu \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \left[ (P_1 - P_0) \pm \frac{\rho v^2}{2} (R_2^2 - R_1^2) \right].$$

Лабиринтные уплотнения используются обычно для уменьшения подсоса воздуха в аппаратах, работающих под небольшим разрежением (сушилки, грануляторы, кристаллизаторы, печи). Различают лабиринтные уплотнения прямоточные и ступенчатые (рис. 39).

## 2.6 СМЕСИТЕЛИ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

В зависимости от физико-механических свойств компонентов сыпучих материалов рекомендуется использовать те или иные принципы смешения. При этом учитываются различие компонентов смеси по размеру, плотности частиц и степени их взаимной связанности (величины аутогезии).

Поскольку свойства сыпучих материалов разнообразны, то в настоящее время разработано большое число видов смесительного оборудования.

В зависимости от конструкции в оборудовании могут преобладать следующие принципы (механизмы) смешивания: циркуляционный, объемный, диффузионный.

Смесители бывают периодического и непрерывного действия.

Оценка качества смешения. Однородность оценивают анализом проб, взятых из смеси. В результате смешивания в идеальном случае получается смесь, в любой точке которой каждой частичке  $i$ -го компонента примыкают частицы других компонентов, в количествах, определяемых заданным соотношением, т.е. в идеальном случае концентрация ключевого компонента  $C_i$  должна быть постоянной по всему объему смеси и равна средней концентрации.

В действительности такого полного перемешивания достичь невозможно, поэтому необходима оценка качества смеси.

Одним из распространенных критериев оценки является коэффициент неоднородности (вариации)

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} = f(\tau),$$

где  $c_i$  – концентрация в  $i$ -ой пробе,  $n$  – число проб.

## 2.7 СМЕСИТЕЛИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Механизм процесса периодического смешивания. Смешение – сложный механический процесс, который складывается из следующих элементарных процессов (рис. 40).

Перемешивание группы сложных частиц из одного места смеси в другое (конвективное смешивание).

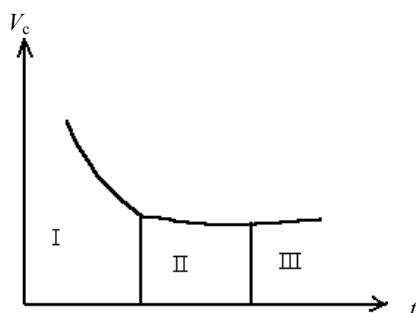


Рис. 40 Кинетическая кривая процесса смешения

Постепенное перераспределение частиц различных компонентов через светообразуемую границу раздела (диффузионное перемешивание).

Сосредоточение частиц, имеющих одинаковые свойства в определенных местах объема аппарата (процесс сегрегации).

Сегрегация по своему действию на смесь противоположна первым двум процессам (ухудшает качество смеси). Обычно в смесителе протекают одновременно все три элементарных процесса.

Доля процесса диффузионного смешивания мала, так как поверхность раздела между разнотипными компонентами мала.

Доля сегрегации также мала, так как внутри перемещающихся микрообъемов процесс сегрегации отсутствует из-за отсутствия различия компонентов. Поэтому на I участке процесс конвективного смешивания идет с большой скоростью, так как процесс идет на уровне

микрообъемов. После того, как компоненты будут в основном распределены по объему, скорости конвективного и диффузионного смешений будут сопоставимы. Перераспределение частиц на участке II идет на уровне микрообъемов. Поэтому скорость смешивания уменьшается. Затем диффузионное смешивание становится преобладающим и заметное влияние на процесс оказывает сегрегация. В определенный момент времени диффузионное смешение и сегрегация уравниваются и дальнейшее смешение не имеет смысла (участок III). Скорость распределения частиц зависит от характера движения потока материала в смесителе, концентрации и от физико-механических свойств частиц зависит от свойств компонентов и конструкции смесителя.

Конструкции смесителей периодического действия. Смесители периодического действия имеют широкое применение в пищевой промышленности. Их целесообразно использовать особенно в тех случаях, когда требуется смешение большого количества компонентов. При непрерывном смешивании аппаратное оформление процесса усложняется за счет оборудования для непрерывного дозирования компонентов в смеситель. Этого можно избежать при периодическом процессе смешения.

Циркуляционные смесители. В циркуляционных смесителях материал перемещается по замкнутому контуру, т.е. циркулирует. Это планетарно-шнековый смеситель с вращающимся конусом (рис. 41).

Вдоль образующей установлен вращающийся привод, обеспечивающий его аппарат. Под действием материал перемещается из опускается назад к Таким образом образуется который циклически Планетарно-шнековый для материалов, склонных к среднюю и высокую зерни-размеру и плотности.

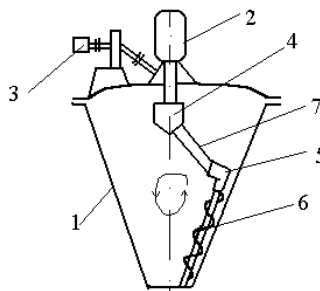


Рис. 41 Планетарно-шнековый смеситель с вращающимся конусом: 1 - корпус; 2 - привод шнека; 3 - привод водила; 4, 5 - косозубые передачи

конической поверхности корпуса шнек, который имеет дополнительное планетарное перемещение вокруг оси вращающегося шнека сыпучий нижней части емкости в верхнюю и основанию в приосной зоне емкости. замкнутый циркуляционный контур, перемещается вокруг оси аппарата. смеситель целесообразно использовать сегрегированию, которые имеют стоимость при большом различии по

Достоинства: высокая сыпучих несвязных материалов.

Недостатки: относительная сложность конструкции, имеющие два привода, отсюда малая надежность.

Объемные смесители. Механизм объемного смешивания состоит в хаотическом перемещении макрообъемов перемешиваемой среды, сопровождаемое периодическим разрушением макрообъемов. К такого рода смесителям относятся ленточные смесители, гребковые, барабанные с насадочным устройством. Рабочие элементы этих смесителей (лента, гребки, лопасти) захватывают макрообъемы перемешиваемой среды и перемещают их в пределах объема перемешиваемой среды.

Недостатки: низкая надежность как следствие больших вращающихся масс, повышенная энергоемкость и металлоемкость.

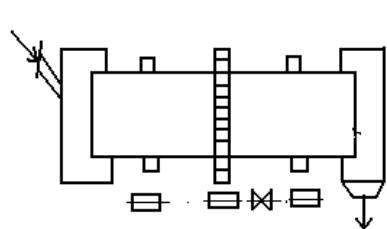


Рис. 42 Барабанный смеситель

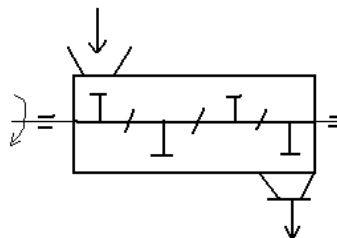


Рис. 43 Гребковый смеситель

Смесители с диффузионным принципом смешивания. Диффузионное смешивание возникает в результате хаотического перемешивания (квазидиффузии) отдельных частиц сыпучего материала. Поэтому этот механизм смешивания целесообразно использовать для несвязных хорошо сыпучих материалов. Для интенсификации процесса диффузионного смешивания сыпучий материал переводят в разреженное состояние, характеризующийся интенсивным взаимным перемещением частиц. Такое состояние может

достигаться за счет эффектов псевдо- и виброоживления. Соответствующие смесители носят название смесителей псевдооживленного и вихревого слоя и вибросмесителей.

Кроме того, диффузионное перемешивание может обеспечиваться и при механическом воздействии рабочих элементов на перемешиваемую среду. Например, в барабанном безнасадочном смесителе, в смесителе "пьяная бочка" (рис. 44).

Смесители с целесообразно использовать материалов, не склонных к размерам и плотности частиц

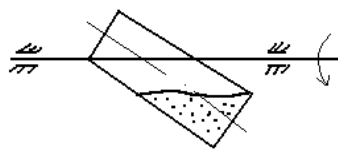


Рис. 44 Смеситель "Пьяная бочка"

Смесители непрерывного являются предпочтительными

среднетонажных производств в связи с высокой производительностью (отсутствие вспомогательных операций); благоприятными условиями для автоматизации; стабильным качеством смеси. Различают барабанные, лопастные, гравитационные.

Гравитационный лотковый вертикальный корпус каскадом зигзагообразно наклона лотков меньше угла смеси.

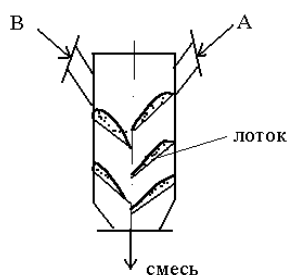


Рис. 45 Гравитационный лотковый смеситель

В процессе многократного лотка на лоток реализуется перемешивания.

диффузионным смешением для несвязных хорошо сыпучих сегрегации (с малым различием по компонентам).

действия для сыпучих материалов явля для крупнотоннажных и гравитационные.

смеситель (рис. 45) представляет собой прямоугольного сечения, в котором установлены наклонные лотки. Угол естественного откоса компонентов

пересыпания сыпучего материала с механизмом диффузионного

## 2.8 СМЕСИТЕЛИ ДЛЯ ПЛАСТИЧНЫХ ТЕСТООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В пищевых производствах (макаронном, кондитерском, консервном) возникает необходимость в смешивании вязких пластичных материалов (тесто, фарш, кондитерские мессы, масло, творог). Такого рода вещества занимают промежуточное положение по своим физико-механическим свойствам между жидкими и твердыми сыпучими материалами.

Смесители для таких материалов бывают периодическими и непрерывно-действующими, характеризующиеся наличием рабочих органов (мешалок), находящихся в активном взаимодействии с перемешиваемой средой.

Ось вращения мешалок может быть горизонтальной, вертикальной или наклонной. Для смешивания вязкоупругих масс (пшеничное тесто) используются двухвальные смесители. Во многих случаях смешивание пластичных масс имеет целью не только обеспечить однородность материала, но и придать ему необходимые пластические свойства. Такой процесс называется пластификацией. Кроме того, смешивание может сопровождаться процессом газонасыщения или теплообменом.

Смесители периодического действия имеют горизонтальную или вертикальную камеру. Процесс смешения заключается в подготовке ингредиентов, периодическом их дозировании, смешивании, выгрузки смеси, подготовке смесительной камеры для последующих операций. Используются, как правило, в малотоннажных периодических производствах.

Тестомесильная установка "Стандарт" представляет собой вращающуюся платформу с вертикальной осью вращения (рис. 46), на которой устанавливается подкатная месильная емкость (дежа). Дежа имеет съемную крышку, закрепленную на мешалке.

После загрузки закатывается на платформу, объем изолируется от включают привод плат-перемешивания дежа оси, а лопасть мешалки перемешиваемом объеме. снимается с платформы. опрокидывающими дежами

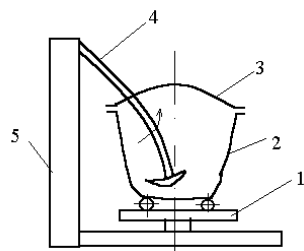


Рис. 46 Тестомесильная установка "Стандарт":

- 1 – платформа; 2 – дежа подкатная;
- 3 – крышка съемная; 4 – мешалка;
- 5 – шкаф с приводом и пультом управления

ингредиентов теста в дежу она в нее погружается мешалка и рабочий окружающей среды крышкой. Затем формы и мешалки. В процессе вращается на платформе вокруг своей совершает планетарное движение в По завершению процесса дежа Иногда применяются установки с для облегчения выгрузки теста.



Непрерывно действующие смесители применяются в производствах средних и крупнотоннажных в условиях непрерывно-действующих технологий. Как правило, они имеют одну или две горизонтально расположенных ротора, снабженных месильными органами, которые не только обеспечивают не только перемешивание, но и транспортирование среды. Бывают гребковые, лопастные и т.д. (рис. 47, 48).

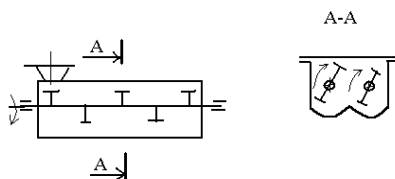


Рис. 47 Двухвальный лопастной смеситель

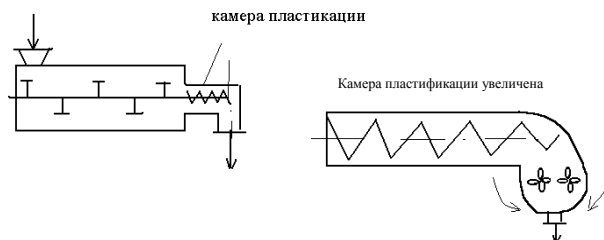


Рис. 48 Гребковый смеситель с камерой пластикации

## 2.9 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СМЕСИТЕЛЕЙ

Для сыпучих материалов. Представляет собой сложную проблему в связи с недостаточно разработанной механикой зернистых сред. Поэтому расчет сыпучих материалов осуществляется на основе результатов физического моделирования. Однако и в этом случае расчет осложняется в связи с трудностями масштабного перехода. Последнее связано с тем, что технологические параметры процесса существенно зависят от соотношения размеров частиц и технологических размеров смесителя. Математическое моделирование на современном уровне развития теории процесса практически невозможно для большинства видов смесителей, поскольку проблематично составить соответствующее уравнение динамики и кинетики процесса. В отдельных случаях представляется возможным составить такие уравнения. Например, для процесса перемешивания в двумерном сдвиговом потоке уравнение динамики имеет вид

$$\frac{dc(\tau, x, y)\rho_n}{d\tau} = -\frac{du(c)\rho_n}{dx} + \frac{d}{dy}\rho_n\left(D\frac{dc}{dy} - k\Delta M(c)\right), \quad (21)$$

где  $c$  – концентрация;  $\tau$  – время;  $\rho_n$  – насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $D$  – коэффициент перемешивания;  $k$  – коэффициент сегрегации;  $\Delta M(c)$  – движущая сила процесса сегрегации.

В уравнении (21) имеются следующие компоненты:  $\frac{du(c)\rho_n}{dx}$  – конвекционное перемешивание;  $D\frac{dc}{dy}$  – квазидиффузия;  $k\Delta M$  – сегрегация.

Смесители тестообразных пастообразных материалов. Тестообразные материалы по своим физико-механическим свойствам занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми материалами. При моделировании гидродинамических процессов в этих материалах, особенно при низких значениях вязкости  $\mu \leq 100$  МПа, пользуются методами, аналогичными для вязких жидкостей. Специфика моделирования заключается в необходимости учета неньютоновских свойств тестообразных материалов, поскольку коэффициент вязкости этих материалов зависит от скорости сдвига. В связи с этим для каждого вида мешалок рекомендуется использовать зависимость скорости сдвига от скорости вращения

мешалки, а коэффициент вязкости находят по вискозиметрической кривой в зависимости от величины скорости сдвига. Дальнейший расчет будет полностью аналогичен таковому для жидкостей.

Например, для мешалок с плоскими рабочими элементами рекомендуют использовать зависимость  $\gamma = 13n$ , где  $\gamma$  – деформация, м/м;  $n$  – скорость вращения мешалки, об/мин;  $\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt}$ , мин<sup>-1</sup> – скорость деформации.

Задавая окружную скоростью вращения, вычисляют скорость деформации. Далее по вискозиметрической кривой для данного материала находят усредненное значение вязкости, вычисляют значение центробежного критерия Рейнольдса

$$Re_{ц} = \frac{\rho n d^2}{\mu}. \quad (22)$$

Используя критериальную зависимость в виде  $K_N = f(Re_{ц})$  находят соответствующее значение коэффициента мощности и вычисляют мощность, затрачиваемую на смещение.

Если зависимость  $\gamma = 13n$  для данного типа мешалки не известна, то ее находят следующим образом. Для выбранных значений скорости вращения  $n$  экспериментально определяют мощность, затраченную на перемещение, и вычисляют величину

$$K_N = \frac{N}{\rho_n^3 d_m^5}. \quad (23)$$

С помощью критериальной зависимости  $K_N = f(Re_{ц})$  находят величину критерия  $Re_{ц}$  по формуле (22) и с ее помощью вычисляют усредненное значение вязкости  $\mu$ . С использованием вискозиметрической зависимости  $\mu = f(\dot{\gamma})$  находят среднее значение скорости сдвига. Усредняя отношения скоростей сдвига к соответствующим скоростям вращения, находят величину коэффициента по формуле, характерной для данного вида мешалки.

### 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ И ПОЛУФАБРИКАТОВ ФОРМОВАНИЕМ

В данном разделе рассматривается отдельная группа оборудования, осуществляющего механическую переработку сырья с целью придания полуфабрикату формы, в отличие от тех видов машин, где задачей механической обработки является или разделение целого куска на части, или, наоборот, соединение отдельных компонентов сырья в полуфабрикаты.

Классификация оборудования: оборудование для формования путем штампования (прессования) с целью придания полуфабрикату определенной формы, изменения его плотности; оборудование для формования путем экструзии (выдавливания) через формующее отверстие матрицы различными нагревателями; оборудование для округления, раскатки, вытяжки и другого.

В процессе переработки с целью формования в оборудование первой группы (для штампования) сырье и полуфабрикаты находятся в замкнутом объеме, в котором создается определенное давление. Во второй группе оборудования экструзии характерно, что на сырье и полуфабрикат оказывается также воздействие давлением, но и объем, в котором находится перерабатываемый продукт, имеет определенной формы и размеров отверстие, через которое происходит выдавливание. Наконец, в третьей группе оборудования – для округления, раскатки и т.д. – продукт воспринимает давление по плоскостям или даже линиям и точкам, не находясь в замкнутом объеме.

В этой связи можно предложить называть эти классификационные группы (рис. 49) как оборудование для формования путем: сдавливания (схема а); выдавливания (схема б); надавливания (схема в).

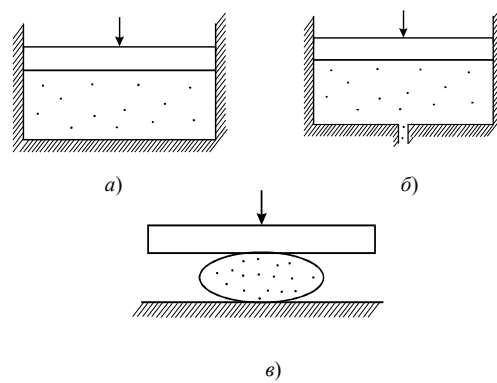


Рис. 49 Классификационные группы технологического оборудования для механической переработки сырья и полуфабрикатов формованием

Оборудование для формования путем штампования (прессования). К указанному виду обработки прибегают в кондитерской, хлебопекарной промышленности для формирования изделий из теста.

Различные виды теста имеют различные физико-химические характеристики. Так, пшеничное тесто представляет собой коллоидную систему, состоящую из губчатого клейковидного скелета, заполненного набухшими зернами крахмала. Оно обладает большой вязкостью, малой способностью к прилипанию и большой упругостью. Эти свойства делают пшеничное тесто пригодным для штампования и придания ему определенной формы.

Ржаное тесто не имеет клейковинного скелета, обладает меньшей вязкостью и большей способностью к прилипанию. Вследствие этих свойств при формировании ржаного теста ограничиваются только окружением его.

Изучение физико-механических свойств теста позволяет определить усилия, которые необходимо приложить штамповым механизмам. Так Луник О.Г. нашел, что напряжение  $\sigma$  (в Па), которое необходимо создать в материале при штамповании, может быть найдено из уравнения

$$\sigma = (\varepsilon_{\text{ост}}/\tau)\eta,$$

где  $\tau$  – время штампования,  $\varepsilon_{\text{ост}} = \delta/H$  – остаточная деформация,  $\eta$  – постоянная для данного материала, имеющая размерность вязкости;  $\delta$  – глубина штампуемого рисунка;  $H$  – толщина штампуемого изделия.

Значение  $\eta$  определяют из опытных данных, для различного вида пшеничного кондитерского теста она колеблется от 1,26 до 9,9.

Схема ротационной формующей машины показана на рис. 50.

Процесс прессования нашел особенно большое применение в сахарорафинадном производстве.

Прессованию подвергаются внешняя рафинадная кашка, состоящая из отдельных кристаллов и их сrostков. Для проведения процесса прессования наиболее часто в пищевых производствах используют карусельный пресс.

Прессование происходит в специальных формах-матрицах. Вращающийся круг несет четыре матрицы, которые двумя продольными перегородками разделены таким образом, чтобы получающийся прессованный рафинад имел форму брусков. Каждая матрица имеет свой пуансон, который служит в ней дном и движется, совершая возвратно-поступательное движение. В течение полного оборота круг с матрицами делает четыре кратковременных остановки. Вследствие этого каждая матрица и соответствующая ей пуансон на один–полтора с поочередно задерживаются в четырех положениях. В первом положении пуансон опускается на глубину  $h_1$ ; во втором положении матрица заполняется кашкой образуя слой с глубиной  $h_1$ . В третьем положении пуансон снимает кашку. В этом положении над матрицей устанавливается плита. Высота слоя кашки уменьшается до  $h_2$ . Наконец, в четвертом положении пуансон выталкивает спрессованные бруски рафинада из матрицы.

Уплотнение массы характеризуется коэффициентом прессования  $\beta = [(V_1 - V_2)/V_1] \cdot 100$ , где  $V_1$  – объем массы до прессования;  $V_2$  – объем массы после прессования.

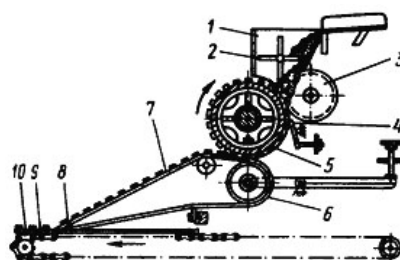


Рис. 50 Схема ротационной формующей машины:

1 – бункер; 2 – защитная крыльчатка; 3 – питающий барабан; 4 – нож;  
5 – формующий барабан; 6 – натяжной ролик; 7 – движущий тканевой транспортер; 8 – ножевая планка; 9 – цепной транспортер; 10 – металлический трафарет

Экспериментально установлено, что наибольшая величина  $\beta$  может быть получена при выдержке брикета под давлением и при повторных нагрузках. Степень уплотнения массы зависит от прилагаемого давления, свойств массы, подвергаемой прессованию, некоторых особенностей пресса и режима прессования.

При двустороннем сжатии требуемое давление может быть уменьшено, а брикет получается более равномерной плотности и большей прочности. Работа прессования на один ход пуассона

$$A = \int_{h_0}^{h_k} Fpdh, \text{ Дж,}$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения;  $h_0$  – высота брикета;  $h_k$  – конечная высота;  $p$  – давление прессования.

Технологическое оборудование для формования путем выдавливания (экструзии). Выдавливательные машины представляют собой достаточно большую группу перерабатывающих машин пищевой промышленности, в которых осуществляется процесс выдавливания жгутов перерабатываемой массы через формующие отверстия матрицы. Формование экструзией имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами: возможность осуществлять процесс непрерывно и с высокой скоростью, что упрощает задачу по созданию поточно-механизированного производства и автоматизации процесса и др. В макаронном производстве на них формируют практически все изделия – трубчатые, сплошные, фигурные и другие. Экструдеры используют в кондитерской промышленности, например, для формирования корпусов конфет из пралиновых масс, при производстве колбас, дозировании и формировании сливочного масла, мыла, творога. В хлебопекарной промышленности экструдеры являются основной частью многих тестоделителей: при производстве пирожков, пончиков, кукурузных палочек, соломки и хрустящих хлебцев.

Используемые в пищевой промышленности экструдеры довольно разнообразны по конструктивному оформлению. Но все они имеют формующий элемент – матрицу, которая формой и размерами отверстий определяет поперечное сечение экструдированного жгута, и нагнетатель, который должен создать в экструдированной массе необходимое давление для того, чтобы вызвать ее течение через отверстие матрицы с желаемой скоростью.

Матрица (рис. 51) представляет собой плоский металлический диск с отверстиями, через которые продавливается формируемая масса. Форма отверстия матрицы определяет вид изделия. При формировании сплошных изделий форма поперечного сечения отверстий бывает круглая, прямоугольная, квадратная и более сложная. Сложные отверстия с вкладышами применяют при формировании полых изделий.

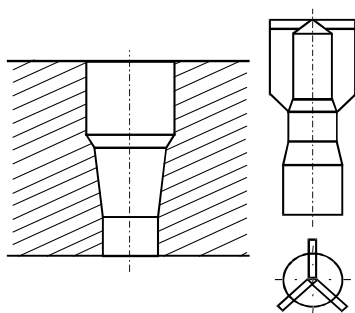


Рис. 51 Общий вид матрицы

Материал для матрицы должен быть коррозионно-стойким, обладать антиадгезионными свойствами и высокой прочностью. Для изготовления матриц экструдеров для пищевой промышленности наиболее часто применяют латунь, бронзу, и нержавеющую сталь. Чтобы снизить прилипаемость формируемого продукта, отверстия полируют и хромируют. Широко применяют в настоящее время матрицы, состоящие из металлической обоймы и смежных вставок. Вставки представляют собой смежные гильзы с формующими отверстиями, изготавливаются из пластмасс (тефлон, альгофон и др.). Преимуществом таких матриц является возможность при одной и той же обойме сменой вставных гильз получать изделия различного сечения.

Нагнетатель экструдера может быть периодического действия (например, отсадочные машины с периодическим движением нагнетателя) или непрерывного действия (машины, выдавливающие бесконечные жгуты или пласты формуемой массы, которые затем разрезают на заготовки).

На рис. 52 показаны схемы винтового и гидравлического поршневых нагнетательных устройств периодического действия.

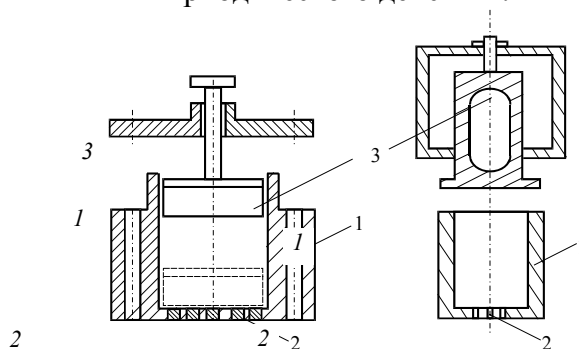


Рис. 52 Схемы винтового и гидравлического поршневых нагнетательных устройств периодического действия

Подобное устройство представляет собой цилиндр 1, одним из торцов которого является матрица 2 с отверстиями определенной формы. Пуансон 3, приводимый в движение гидравлическим или винтовым устройством, входит в этот цилиндр и вытесняет предварительно заложенное в него тесто.

Среди нагнетателей непрерывного действия распространены шнековый, валковый и шестеренный.

Схемы нагнетателей представлены на рис. 53.

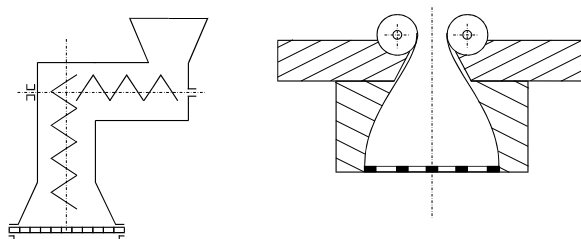


Рис. 53 Схемы шнекового и валкового нагнетателей

Выбор типа нагнетателя зависит как от свойств перерабатываемой массы, так и от технологических требований к ее обработке. Приведем общие рекомендации по выбору типа нагнетателя.

Поршневые и валковые нагнетатели оказывают щадящее воздействие на перерабатываемый продукт, поэтому их целесообразно использовать для формирования масс нежной консистенции. Использование поршневого нагнетателя нецелесообразно при включении экструдера в поточную линию, так как этот нагнетатель периодического действия. Валковые нагнетатели лучше всего применять в машинах без матрицы как каландры (каландрование рассматривается как частный случай экструзии), например в тех случаях, когда необходимо получить полуфабрикат в виде ленты, например для формирования сухарных плит, тонких листов теста. Толщина слоя ленты при безматричном формировании определяется расстоянием между формирующими волками. Шестеренные нагнетатели целесообразно применять для формирования однородных и гомогенных материалов. Их недостатком является пульсация создаваемого давления. Их нельзя использовать для формирования масс с твердыми включениями, которые могут разрушаться и измельчаться. Одношнековые нагнетатели хорошо работают в сочетании с круглой матрицей и являются перспективными для формирующих машин в пищевых производствах. Нельзя, однако, считать удачным использование шнекового нагнетателя с прямоугольной матрицей, так как в этом случае невозможно обеспечить равномерность скорости выпрессовывания по ее длине.

Шнековые экструдеры. Нагнетатели шнекового типа наиболее характерны для экструзионной техники. Они получили широкое распространение в пищевых производствах. Развитие шнековых экструдеров в различных областях техники связано с внедрением непрерывных методов производства.

На рис. 54 представлена схема одношнекового экструдера. Перерабатываемый материал подается в загрузочную воронку 5 и при вращении шнека 4 внутри цилиндрического корпуса 3 захватывается им,

проталкивается по шнековому каналу вперед и нагнетается в предматричную камеру 2. Она заканчивается матрицей 1, через отверстия которой выдавливается продукт.

Загрузочная воронка 5 должна обеспечить запас материала и гарантировать непрерывную его подачу в шнек в необходимом количестве. Даже кратковременное прекращение подачи приводит к падению давления в предматричной камере и колебанию сечения выпрессованного жгута. В связи с этим иногда при формировании материалов со значительной вязкостью в воронке устанавливают питающее устройство (конический шнек, вал с лопатками), который создает подпор и проталкивает материал к шнеку для лучшего заполнения винтового канала.

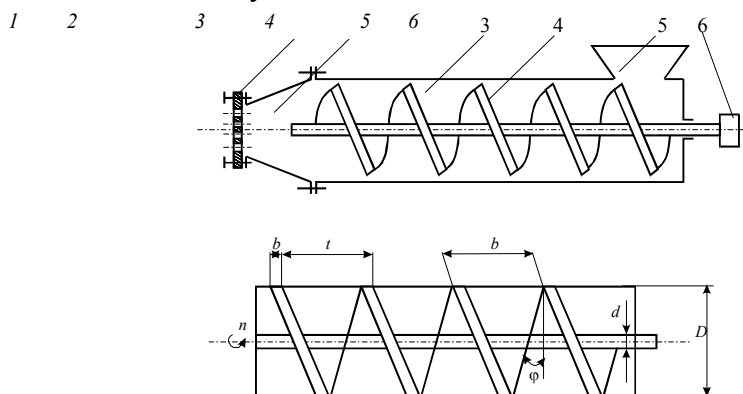


Рис. 54 Схема шнекового экструдера

Шнек является важным рабочим органом экструдера, производительность и устойчивость работы зависят от конструкции и размеров. Основной определяющей характеристикой шнека является его диаметр  $D$ . Диаметр выбирается в зависимости от вида и свойств перерабатываемого продукта, типа получаемого жгута (изделия) и от требуемой производительности экструдера.

Другой важной характеристикой шнека является отношение его длины  $L$  к диаметру  $D$ . Для экструдеров, используемых в пищевых производствах, это отношение находится в пределах 6...13.

Остальные размеры шнека выбираются по следующим рекомендациям: шаг винтовой нарезки,  $t = (0,7 \dots 1,2)D$ ; диаметр вала шнека

$d = (0,44 \dots 0,57)D$ , при этом должно быть выполнено условие  $d \geq \frac{t}{\pi \operatorname{tg} \psi}$ , где  $\psi$  – угол трения продукта по шнеку.

Угол наклона винтовой линии  $\varphi$  определяется из соотношения

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{t}{\pi D}.$$

Значение угла  $\varphi$  зависит от коэффициента трения продукта по шнеку, и рекомендуется принять величину угла  $17 \dots 22^\circ$ . Если угол  $\varphi$  выходит за рекомендуемые границы, то требуется коррекция  $t$ .

Для перемещения материала вдоль корпуса необходимо, чтобы трение материала по внутренней поверхности корпуса было больше трения его по шнеку. В противном случае материал будет вращаться вместе со шнеком, не продвигаясь в осевом направлении. Для создания различных коэффициентов трения материала о шнек и о внутреннюю поверхность корпуса применяют разную чистоту обработки поверхности и во многих случаях поддерживают различными температурами корпуса и шнека.

Для обеспечения возможности регулирования температуры или поддержания ее постоянной во время процесса корпус делают с электрическим обогревом или с рубашкой, в которую пропускается жидкость – теплоноситель. Конструкция корпуса с рубашкой позволяет осуществлять не только нагревание, но при необходимости – охлаждение готового продукта.

При вращении шнек захватывает поступающий из загрузочной воронки продукт и проталкивает его вперед, увеличивая при этом гидростатическое давление в материале от загрузочной зоны к переднему краю шнековой камеры. Нагнетательный материал оказывается заключенным между движущимися поверхностями (основание и боковые стенки шнекового канала) и неподвижной внутренней поверхности корпуса. Таким образом, вследствие относительного движения корпуса и шнека возникает вынужденный (прямой) ток, который определяет нагнетание материала к формующей головке. С другой стороны, вследствие повышенного давления в формующей головке возникает и противоток, который можно рас-

считать как течение материала в обратном направлении – от прессующей головки к зоне загрузки. На практике, однако, в канале шнека никогда не возникает противоток, а давление в головке оказывает своеобразное ограничение прямому потоку, которое рассматривается теоретически как противоток, а производительность шнекового нагнетателя – как суммарный расход двух потоков.

Производительность экструдера можно определить графически, анализируя расходно-напорную характеристику (РНХ) нагнетателя и формующей головки (рис. 55). РНХ нагнетателя – это зависимость создаваемого им расхода материала  $Q$  от противодействия  $\Delta p$  на выходе, отражающее сопротивление матрицы перемещению перерабатываемой массы. РНХ формующего органа (матрицы) является зависимостью расхода  $Q$  через отверстия матрицы от давления в предматричной камере. РНХ шнекового нагнетателя в координатах производительность – давление представляет собой прямую отрицательного наклона, так как при отсутствии противодействия в канале имеется только вынужденный поток и производительность нагнетателя максимальна (точка пересечения прямой с ординатой). С увеличением противодействия появляется и постепенно возрастает противоток, следовательно, производительность должна уменьшаться (до 0 при закрытом выходе).

Кривая РНХ формующей головки проходит через начало координат, ибо при нулевом давлении в головке течение через матрицу отсутствует.

С ростом давления производительность увеличивается.

Анализ РНХ шнекового нагнетателя и формующей головки позволяет определить производительность экструдера и развиваемого при этом давления на входе в матрицу для конкретного сочетания шнек-матрица.

Графически это решение представляется точкой пересечения графиков рабочих характеристик шнекового нагнетателя и формующей головки. Точка пересечения  $A$  является рабочей точкой экструдера.

Ее координаты определяют производительность экструдера и создание им давления.

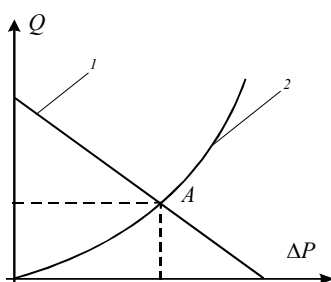


Рис. 55 Расходно-напорные характеристики:  
1 – РНХ нагнетателя; 2 – РНХ формующей головки

Математическое описание работы экструдера может быть получено решением системы уравнений, состоящей из уравнений неразрывности, движения, энергии и уравнений реологического состояния экструдруемого материала.

Графический метод совмещенных кривых (рис. 56) очень удобен для анализа работы экструдера, так как из многообразия возможных режимов выпрессовывания можно выбрать наилучшие характеристики и режим работы экструдера.

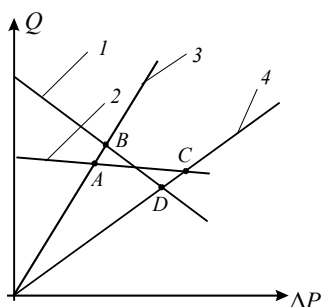


Рис. 56 Графический метод совмещенных кривых

Прямые 1 и 2 (рис. 56) представляют собой РНХ шнековых нагнетателей, различающихся только глубиной шнекового канала (1 – глубокий канал, 2 – неглубокий канал). Головки представлены прямыми 3 (головка меньшего сопротивления) и 4 (головка большего сопротивления). При установке в экструдер головки меньшего сопротивления нагнетатель с глубоким каналом обеспечит более высокую производительность, чем нагнетатель с меньшим каналом (его рабочая точка выше рабочей точки А мелкого шнека).

Если установлена головка большего сопротивления, то лучшие результаты даст нагнетатель с мелким каналом шнека (рабочая точка С), так как одновременно обеспечит большую производительность и создаст более высокое давление, чем нагнетатель с глубоким каналом шнека (с рабочей точкой D). Таким же образом можно рассмотреть влияние изменения длины шнека и частоты вращения, температуры материала в головке и в нагнетателе и других параметров на производительность экструдера и создаваемое им давление.

Экструдеры могут работать как самостоятельные машины, а также входят в состав комплексных машин, включающих целый ряд операций.

Шнековый макаронный пресс ЛПЛ-2М (рис. 57) осуществляет непрерывное дозирование основных компонентов – воды и муки. Из этих компонентов на нем замешивается тесто, которое затем подпрессовывается. Вышедшие из формующих отверстий влажные жгуты обдуваются горячим воздухом для подсушки. Далее все на той же машине осуществляется резка жгутов.

Мука дозируется шнековым устройством, совершающим прерывистое вращение, частота которого вместе с геометрией шнека определяет расход муки. Вода дозируется путем поддержания определенного уровня ее в емкости, из которой она забирается вращающимся барабанным устройством. В корытообразной емкости помещен вал с лопатками, плоскости которых развернуты таким образом, что составляют как бы отдельные участки шнека на валу. Это обеспечивает не только перемешивание, но и транспортирование полуфабриката от того места месильного корыта, где установлены дозаторы муки и воды к противоположному краю, где в дне имеется выпускное отверстие.

Тесто из месильного устройства поступает в шнековый канал, по которому перемещается к прессующей головке. По мере движения в прессующем корпусе тесто проходит вакуумирующее устройство. Прессующая головка представляет собой куполообразную емкость, в нижней части которой расположена матрица.

Сырые жгуты отформованного полуфабриката обдуваются теплым воздухом, что способствует образованию на поверхности полуфабриката корочки, предохраняющей изделия от склеивания при дальнейшей их обработке. Отрезное устройство отделяет от непрерывно выпрессовываемых жгутов изделия определенной длины, которые для окончательной обработки направляются в сушильные камеры.

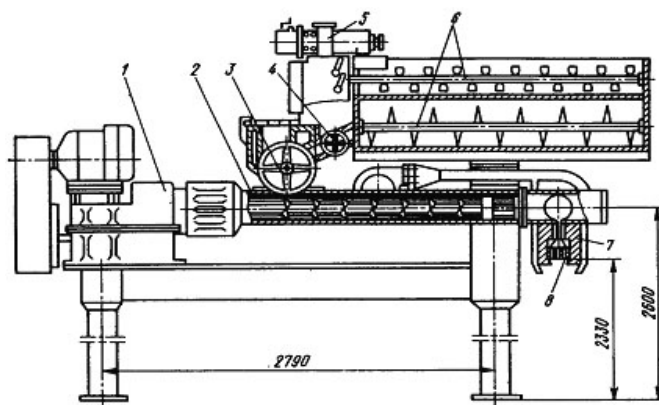


Рис. 57 Схема шнекового макаронного процесса ЛПЛ-2М:

- 1 – привод; 2 – два прессующих корпуса; 3 – вакуумный тестомеситель;
- 4 – дозирующее устройство; 5 – тестомесители; 6 – тубус;
- 7 – тубус;
- 8 – прямоугольные матрицы

Расчет валкового экструдера, который представляет собой пару валков вращающихся навстречу один другому и извлекающие массу через зазор между ними в предматричную зону, приведен ниже.



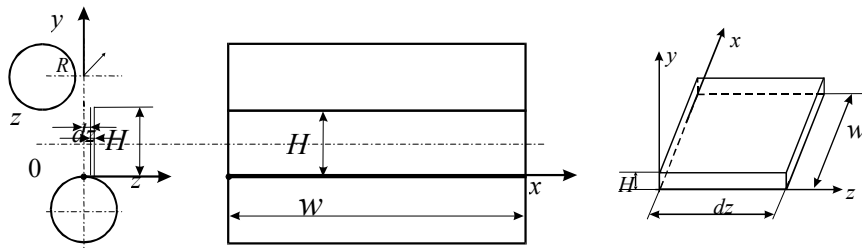


Рис. 58 Расчетная схема валкового экструдера

Выделим на расстоянии  $z$  (рис. 58) от плоскости осей валков  $x$ - $y$  двумя параллельными плоскостями элемент межвалкового объема длиной  $dz$ , высотой  $H$  и шириной  $W$ . Выделенный объем можно рассматривать как прямоугольный канал с двумя подвижными и двумя неподвижными станками, которыми соответственно являются поверхности валков и торцовые плоскости, ограничивающие межвалковый объем.

Рассмотрим изотермическое ламинарное и стационарное течение несжимаемой ньютоновской жидкости в этом канале:

$$\rho \frac{dV_z}{dt} = 0 = -\frac{dP}{dz} + \mu \left( \frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} \right),$$

где  $\mu$  – вязкость;  $V$  – скорость частиц жидкости. Граничные условия:  $V_z(x, 0) = V_z$ ;  $V_z(x, H) = V_z$ , где  $V_z$  – проекция скорости точек поверхности валка на ось  $z$ . Решение этой задачи относительно  $V_z$  можно получить обычным методом разделения переменных.

Объемную производительность определяют при вычислении двойного интеграла:

$$Q = \int_0^W \int_0^H V_z dx dy.$$

Конечный результат получают в

$$Q = V_z W H F_1 - \frac{W H^3}{12\mu} \frac{dP}{dz} F_2,$$

где  $F_1 \approx 1 - 0,5z^2/WR$ ,  $F_2 \approx 1 -$   
используют для построения РНХ

Тестоокруглительные машины.  
поверхности рабочих органов,  
теста, тестоокруглительные машины

конической, цилиндрической и плоской рабочей поверхностью.

В машинах первой группы округление кусков теста производится между неподвижно установленными спиральным желобом и вращающейся частью.

В машинах второй группы округление кусков производится между цилиндрическими поверхностями, например образующийся вращающимся барабаном и движущейся лентой или двух противоположно вращающихся барабанов, расположенных аналогично эксцентрикам.

В машинах третьей группы округление производится плоскими движущимися лентами трех транспортеров, два из которых установлены под углом к горизонтальному транспортеру.

Ленты транспортеров движутся с различными скоростями в противоположных направлениях, а лента горизонтального транспортера имеет результирующую скорость  $V$  двух боковых транспортеров:  $V = V_1 - V_2$ .

Кроме формования шарообразной формы при округлении тесто уплотняется и улучшается его пористость. Качество округления зависит от консистенции, выброженности теста и работы округлителя. Если тесто нормальное, заготовки будут хорошо округляться. В противном случае от заготовок будут отщипываться небольшие кусочки и нарушаться масса. Во избежание налипания и размазывания теста (для изделий более влажности) необходимо создавать обдувку воздухом или покрывать поверхность чаши водоотталкивающим веществом.

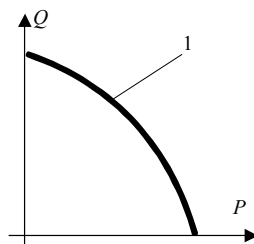


Рис. 59 Расчетная РНХ нагнетателя

виде

$0,578z^2/WR$ . Полученное выражение нагнетателя (рис. 59).

В зависимости от формы и характера применяемых для округления кусков подразделяются на три группы: с

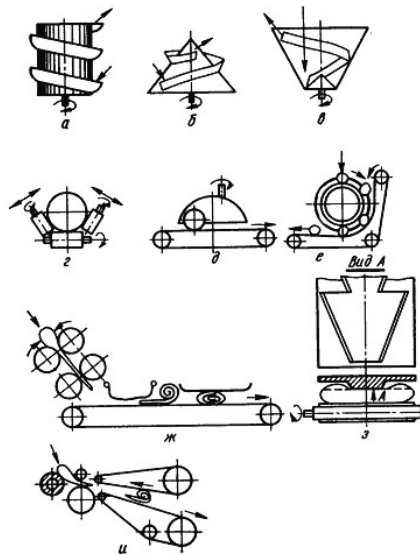


Рис. 60 Тестоокруглительные (а, б, в, г, д, е) и закаточные (ж, з, и) машины

Тестозакаточные машины. Процесс формирования тестовых заготовок в тестозакаточных машинах состоит из трех операций: раскатывание округленного куска, завертывание его в рулон и формирование рулона в тестовую заготовку требуемой формы. Раскатывание округленного куска теста в блин осуществляется двумя парами валков.

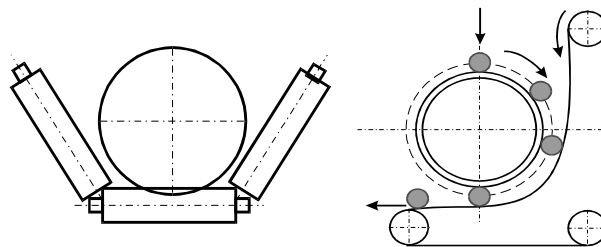


Рис. 61 Тестозакаточные машины барабанные и ленточные

Первая пара раскатывает блин большей толщины, вторая – более тонкий. Валки вращаются навстречу друг другу с разной скоростью. Завертывание раскатанного теста в рулон, как правило, производится подвешенной на ленты транспортера прутковой или панцирной сеткой или двумя бесконечными транспортерами с противоположными вращениями.

Тестозакаточные машины бывают двух видов: барабанные и ленточные (рис. 61 – 63).

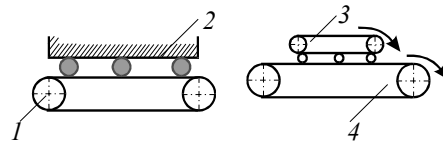


Рис. 62 Схема рабочих органов ленточной тестозакаточной машины для ржаного теста:

1 – движущаяся лента; 2 – неподвижная плита; 3, 4 – движущиеся бесконечные ленты

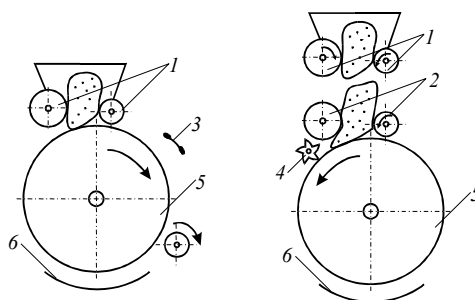


Рис. 63 Схема рабочих органов барабанной тестозакаточной машины для пшеничного теста

Тестоокруглительная машина Т1-ХТН (рис. 64) представляет собой вращающуюся чугунную чашу, внутри которой расположен неподвижный спиральный желоб. Куски теста неправильной формы поступают на дно вращающейся чаши и перемещаются, перекатываясь по спиральному желобу, образованному в месте стыка спирали и чаши.

Доходя до верхней части желоба, куски теста приобретают нужную форму.

Производительность округлителя с конической несущей поверхностью

$$\Pi_{\text{ок}} = \frac{\lambda \pi D n \mu}{d}, \text{ с}^{-1},$$

где  $\lambda$  – коэффициент учитываемого отклонения размеров кусков теста (0,8...0,85);  $D$  – минимальный диаметр чаши в месте контакта с тестовой заготовкой;  $n$  – частота вращения работающего органа;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий отставания куска теста от несущей поверхности;  $d$  – средний диаметр округленного куска теста (определяется по массе куска).

Производительность ленточной тестоокруглительной машины

$$\Pi_{\text{о.л}} = V_n/a,$$

где  $V_n = \frac{V_n - V_{\text{ф}}}{2} \varepsilon$  – скорость перемещения куска теста при округлении;  $a$  – шаг кусков теста;  $V_n$  – скорость несущей ленты;  $V_{\text{ф}}$  – скорость формирующей ленты;  $\varepsilon$  – коэффициент проскальзывания ( $\varepsilon = 0,8$ ).

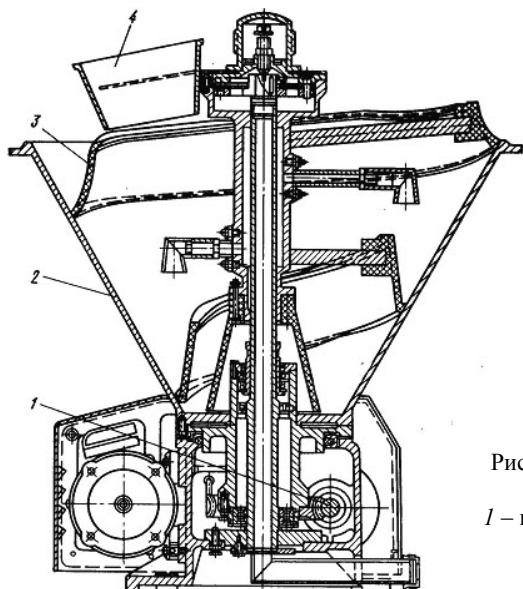


Рис. 64 Тестоокруглительная машина Т1-ХТН:  
1 – привод; 2 – вращающаяся чаша;  
3 – формирующая спираль;  
4 – приемная воронка

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены теоретические положения, классификация оборудования для осуществления конкретного технологического процесса, схемы и конструкции этого оборудования, расчетные формулы, достоинства и недостатки каждого аппарата или машины. Материал пособия подобран из различных литературных источников и обработан на единой методической основе, что позволяет углубленно изучать первую часть курса "Технологическое оборудование пищевых производств" и активизировать самостоятельную творческую работу студента.

Основой успешного изучения технологического оборудования являются прежде всего курсы "Детали машин", "Технологические процессы в машиностроении", "Материаловедение", "Сопротивление материалов", "Теория машин и механизмов", "Подъемно-транспортные установки", "Процессы и аппараты пищевых производств", "Ремонт и монтаж оборудования", "Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств", "Проектирование технологического оборудования отрасли и линий", "Физико-механические свойства сырья и готовой продукции", "Общая и специальная технология пищевых производств" и др.

Полученные знания будут необходимы при профессиональной подготовке инженеров по специальности 260601 "Машины и аппараты пищевых производств", при решении практических задач, непо-

средственно связанных с эксплуатацией и ремонтом основного технологического оборудования, а также с интенсификацией производственных процессов.

Создание и внедрение в производство принципиально новой техники, современных технологий и материалов, способствующих повышению производительности оборудования, улучшению качества выпускаемой продукции, экономии материальных ресурсов и активной охране окружающей среды – главная задача технического прогресса, которую предстоит решать молодым специалистам в настоящее время и в перспективе.

### *Список рекомендуемой литературы*

- 1 Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984. 312 с.
- 2 Борисов Ю.С. Организация ремонта и технического обслуживания оборудования. М.: Машиностроение, 1978. 360 с.
- 3 Вайткус В.В. Гомогенизация молока. М.: Пищ. пром-сть, 1967. 216 с.
- 4 Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред: Справ. пособие. Л.: Машиностроение, ЛО, 1979. 272 с.
- 5 Гатилин Н.Ф. Проектирование хлебозаводов. М.: Пищ. пром-сть, 1975. 374 с.
- 6 Гребенюк С.М. Технологическое оборудование сахарных заводов. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. 342 с.
- 7 Даурский А.Н., Мачихин Ю.А. Резание пищевых материалов. М.: Пищ. пром-сть, 1980. 240 с.
- 8 Жужиков В.А. Фильтрование. М.: Химия, 1980. 400 с.
- 9 Зайчик Ц.Р. Сборник задач по расчетам оборудования винодельческого производства. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. 200 с.
- 10 Калунянец К.А., Голгер Л.И., Балашов В.Е. Оборудование микробиологических производств. М.: Агропромиздат, 1987. 398 с.
- 11 Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: 8-е изд., перераб. М.: Химия, 1971. 784 с.
- 12 Кожуховский И.Е. Зерноочистительные машины. М.: Машиностроение, 1965. 220 с.
- 13 Колесник Б.Г., Лысенко В.П., Пароходько А.П. Справочник механика сахарного завода. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. 264 с.
- 14 Кретов И.Т., Антипов С.Т. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности: Учеб. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1997. 624 с.
- 15 Кретов И.Т., Остриков А.Н., Кравченко В.М. Технологическое оборудование предприятий пище-концентратной промышленности: Учеб. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1996. 448 с.
- 16 Липатов Н.Н., Новиков О.П. Саморазгружающиеся сепараторы. М.: Машиностроение, 1975. 247 с.
- 17 Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. 208 с.
- 18 Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 215 с.
- 19 Маршалкин Г.А. Технологическое оборудование кондитерских фабрик. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 448 с.
- 20 Назаров Н.И. Технология макаронных изделий. М.: Пищ. пром-сть, 1978. 288 с.
- 21 Оборудование пище-концентратного производства: Справ. / В.А. Воскобойников, В.М. Кравченко, И.Т. Кретов и др. М.: Агропромиздат, 1989. 303 с.

- 22 Остриков А.Н., Парфенопуло М.Г., Шевцов А.А. Практикум по курсу "Технологическое оборудование". Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад. 1999, 424 с.
- 23 Островский Э.В., Эйдельман Е.В. Краткий справочник конструктора продовольственных машин: 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 621 с.
- 24 Панфилов В.А. Научные основы развития технологических линий пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1986. 246 с.
- 25 Парфенопуло М.Г., Остриков А.Н., Шевцов А.А. Практикум по курсу "Технологическое оборудование пищевых производств": Учеб. пособие. Воронеж: Воронеж. технол. ин-т, 1993. 96 с.
- 26 Положение о системе планового технического обслуживания и ремонта оборудования предприятий кондитерской промышленности. М.: ВНИИКП, 1981. 408 с.
- 27 Практикум по расчетам оборудования хлебопекарного и макаронного производств / М.Е. Чернов, В.М. Хроменков, Ю.А. Калашин и др.; Под ред. Ю.А. Калашина. М.: Агропромиздат, 1991. 16 с.
- 28 Прессы пищевых и кормовых производств / А.Я. Соколов, М.Н. Караваев, Д.М. Руб, Ц.Р. Зайчик; Под ред. А.Я. Соколова. М.: Машиностроение, 1973. 288 с.
- 29 Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
- 30 Прудюс Б.В., Хоменко А.И. Расчет оборудования сахарных заводов. М.: Агропромиздат, 1985. 223 с.
- 31 Разделение суспензий в химической промышленности / Т.А. Малиновская, И.А. Кобринский, О.С. Кирсанов, В.В. Рейнфарт. М.: Химия, 1983. 264 с.
- 32 Селиванов А.И. Основы теории старения машин. М.: Машиностроение, 1971. 408 с.
- 33 Сигал М.Н. и др. Оборудование предприятий хлебопекарной промышленности. М.: Агропромиздат, 1985. 296 с.
- 34 Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. М.: Химия, 1977, 368 с.
- 35 Силин П.М. Технология сахара. М.: Пищ. пром-сть, 1967. 625 с.
- 36 Система научного и инженерного обеспечения пищевых и перерабатывающих отраслей АПК России / А.Н. Богатырев, В.А. Панфилов, В.И. Тужилкин и др. М.: Пищ. пром-сть, 1995. 528 с.
- 37 Соколов А.Я. Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств. М.: Машиностроение, 1969. 639 с.
- 38 Соколов В.И. Центрифугирование. М.: Химия, 1976. 408 с.
- 39 Справочник механика дрожжевого завода / Ю.И. Шишацкий, Н.Ф. Семенов, В.А. Федоров, С.В. Востриков. М.: Агропромиздат, 1987. 295 с.
- 40 Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Пер. с польск.; под ред. И.А. Щупляка Л.: Химия, 1975. 384 с.
- 41 Сурков В.Д., Липатов Н.Н., Золотин Ю.П. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности: 3-е изд., перераб. и доп. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. 432 с.
- 42 Технологическое оборудование консервных заводов / М.С. Аминов, М.Я. Дикие, А.Н. Мальский, А.К. Гладушняк. М.: Пищ. пром-сть, 1986. 319 с.
- 43 Технологическое оборудование пищевых производств / Б.М. Азаров, Х. Аурих, С. Дичев и др.; Под ред. Б.М. Азарова. М.: Агропромиздат, 1988. 463 с.
- 44 Технологическое оборудование пищевых производств / Б.М. Азаров,
- 45 Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности / Л.И. Попов, И.Т. Кретов, В.Н. Стабников и др.; Под ред. И.Т. Кретова. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. 591 с.
- 46 Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна: 5-е изд., перераб. и доп. / А.Я. Соколов, В.Ф. Журавлев и др. М.: Колос, 1984. 445 с.
- 47 Технологическое оборудование хлебопекарных и макаронных предприятий / Б.М. Азаров, А.Т. Лисовенко, С.А. Мачихин и др.; Под ред. С.А. Мачихина. М.: Агропромиздат, 1986. 263 с.
- 48 Чернов М.Е. Оборудование предприятий макаронной промышленности. М.: Агропромиздат, 1988. 264 с.
- 49 Чернов М.Е., Медведев Г.М., Негруб В.П. Справочник по макаронному производству. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. 304 с.

## 2.9 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СМЕСИТЕЛЕЙ

*Для сыпучих материалов.* Представляет собой сложную проблему в связи с недостаточно разработанной механикой зернистых сред. Поэтому расчет сыпучих материалов осуществляется на основе результатов физического моделирования. Однако и в этом случае расчет осложняется в связи с трудностями масштабного перехода. Последнее связано с тем, что технологические параметры процесса существенно зависят от соотношения размеров частиц и технологических размеров смесителя. Математическое моделирование на современном уровне развития теории процесса практически невозможно для

большинства видов смесителей, поскольку невозможно составить соответствующее уравнение динамики и кинетики процесса. В отдельных случаях представляется возможным составить такие уравнения. Например, для процесса перемешивания в двухмерном сдвиговом потоке уравнение динамики имеет вид:

$$\frac{dc(\tau, x, y)\rho_H}{d\tau} = -\frac{du(c)\rho_H}{dx} + \frac{d}{dy}\rho_H\left(D\frac{dc}{dy} - k\Delta M(c)\right) \quad (21)$$

где  $c$  - концентрация;  $\tau$  - время;  $\rho_H$  - насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $D$  - коэффициент перемешивания;  $k$  - коэффициент сегрегации;  $\Delta M(c)$  - движущая сила процесса сегрегации.

В уравнении (21) имеются следующие компоненты:  $\frac{du(c)\rho_H}{dx}$  - конвекционное перемешивание;  $D\frac{dc}{dy}$  - квазидиффузия;  $k\Delta M$  - сегрегация.

Смесители тестообразных пастообразных материалов. Тестообразные материалы по своим физико-механическим свойствам занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми материалами. При моделировании гидродинамических процессов в этих материалах, особенно при низких значениях вязкости  $\mu \leq 100$  МПа, пользуются методами, аналогичными для вязких жидкостей. Специфика моделирования заключается в необходимости учета неньютоновских свойств тестообразных материалов, поскольку коэффициент вязкости этих материалов зависит от скорости сдвига. В связи с этим для каждого вида мешалок рекомендуется использовать зависимость скорости сдвига от скорости вращения мешалки, а коэффициент вязкости находить по вискозиметрической кривой в зависимости от величины скорости сдвига. Дальнейший расчет будет полностью аналогичен таковому для жидкостей.

Например, для мешалок с плоскими рабочими элементами рекомендуют использовать зависимость  $\gamma = 13n$ , где  $\gamma$  - деформация, м/м;  $n$  - скорость вращения мешалки, об/мин;  $\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{d\tau}$ , мин<sup>-1</sup> - скорость деформации.

Задаваясь окружной скоростью вращения, вычисляют скорость деформации. Далее по вискозиметрической кривой для данного материала находят усредненное значение вязкости. Затем вычисляют значение центробежного критерия Рейнольдса  $Re_{\text{ц}}$ :

$$Re_{\text{ц}} = \frac{\rho n d^2}{\mu} \quad (22)$$

Далее, используя критериальную зависимость в виде  $K_N = f(Re_{\text{ц}})$  находят соответствующее значение коэффициента мощности и вычисляют мощность, затрачиваемую на смещение.

Если зависимость  $\gamma = 13n$  для данного типа мешалки не известна, то ее находят следующим образом. Для выбранных значений скорости вращения  $n$  экспериментально определяют мощность, затраченную на перемещение, и вычисляют величину:

$$K_N = \frac{N}{\rho_n^3 d_m^5} \quad (23)$$

С помощью критериальной зависимости  $K_N = f(Re_{\text{ц}})$  находят величину критерия  $Re_{\text{ц}}$  по формуле (22) и с ее помощью вычисляют усредненное значение вязкости  $\mu$ . Далее с использованием вискозиметрической зависимости  $\mu = f(\dot{\gamma})$  находят среднее значение скорости сдвига. Усредняя отношения скоростей сдвига к соответствующим скоростям вращения, находят величину коэффициента по формуле, характерной для данного вида мешалки.

### 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ И ПОЛУФАБРИКАТОВ ФОРМОВАНИЕМ

В данном разделе рассматривается отдельная группа оборудования, осуществляющего механическую переработку сырья с целью придания полуфабрикату формы, в отличие от тех видов машин, где задачей механической обработки является или разделение целого куска на части или наоборот, соединение отдельных компонентов сырья в полуфабрикаты.

Классификация оборудования: оборудование для формования путем штампования (прессования) с целью придания полуфабрикату определенной формы, изменения его плотности; оборудование для формования путем экструзии (выдавливания) через формирующее отверстие матрицы различными нагнетателями; оборудование для округления, раскатки, вытяжки и другого.

В процессе переработки с целью формования в оборудование первой группы (для штампования) сырье и полуфабрикаты находятся в замкнутом объеме, в котором создается определенное давление. Во второй группе оборудования экструзии – характерно, что на сырье и полуфабрикат оказывается также воздействие давлением, но и объем, в котором находится перерабатываемый продукт, имеет определенной формы и размеров отверстие, через которое происходит выдавливание. Наконец, в третьей группе оборудования – для округления, раскатки и т.д. – продукт воспринимает давление по плоскостям или даже линиям и точкам, не находясь в замкнутом объеме.

В этой связи можно предложить называть эти классификационные группы следующим образом (рис. 49): оборудование для формования путем сдавливания (схема а); оборудование для формования путем выдавливания (схема б); оборудование для формования путем надавливания (схема с).

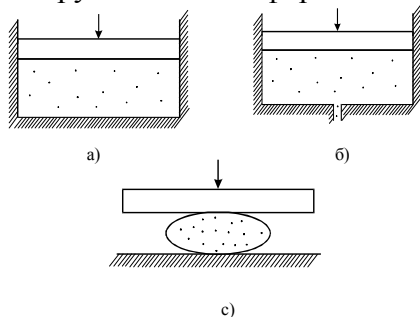


Рис. 49 Классификационные группы технологического оборудования для механической переработки сырья и полуфабрикатов формованием

*Оборудование для формования путем штампования (прессования).* К указанному виду обработки прибегают в кондитерской, хлебопекарной промышленности для формирования изделий из теста.

Различные виды теста имеют различные физико-химические характеристики. Так, пшеничное тесто представляет собой коллоидную систему, состоящую из губчатого клейковидного скелета, заполненного набухшими зернами крахмала. Оно обладает большой вязкостью, малой способностью к прилипанию и большой упругостью. Эти свойства делают пшеничное тесто пригодным для штампования и придания ему определенной формы.

Ржаное тесто не имеет клейковинного скелета, обладает меньшей вязкостью и большей способностью к прилипанию. В следствие этих свойств при формировании ржаного теста ограничиваются только окружением его.

Изучение физико-механических свойств теста позволяет определить усилия, которые необходимо приложить штамповым механизмам. Так Луник О.Г. нашел, что напряжение  $\sigma$  (в Па), которое необходимо создать в материале при штамповании, может быть найдено из уравнения

$$\sigma = (\varepsilon_{ост} / \tau) \eta,$$

где  $\tau$  - время штампования,  $\varepsilon_{ост} = \delta / H$  - остаточная деформация,  $\eta$  - постоянная для данного материала, имеющая размерность вязкости;  $\delta$  - глубина штампуемого рисунка;  $H$  - толщина штампуемого изделия.

Значение  $\eta$  определяют из опытных данных. Для различного вида пшеничного кондитерского теста величина  $\eta$  колеблется от 1,26 до 9,9.

Схема ротационной формующей машины показана на рис. 50. Процесс прессования нашел особенно большое применение в сахарорафинадном производстве. Прессованию подвергаются внешняя рафинадная кашка, состоящая из отдельных кристаллов и их сростков. Для проведения процесса прессования наиболее часто в пищевых производствах используют карусельный пресс, схема которого представлена на рисунке. Прессование в этом прессе происходит в специальных формах матрицах. Вращающийся круг несет четыре матрицы. Матрицы двумя продольными перегородками разделены таким образом, чтобы получающийся прессованный рафинад имел форму брусков. Каждая матрица имеет свой пуансон, который служит в ней дном и движется, совершая возвратно – поступательное движение. В течение полного оборота круг с матрицами делает четыре кратковременных остановки. Вследствие этого каждая матрица и соответствующая ей пуансон на один - полтора с поочередно задерживаются в положениях А, Б, В, Г. В положении А пуансон опускается на глубину  $h_1$ . В положении Б матрица заполняется кашкой образуя слой с глубиной  $h_1$ . В положении В пуансон снимает кашку. В этом положении над матрицей устанавливается плита. Высота слоя кашки уменьшается до  $h_2$ . Наконец, в положении Г пуансон выталкивает спрессованные бруски рафинада из матрицы.

Уплотнение массы характеризуется коэффициентом прессования  $\beta = [(V_1 - V_2) / V_1] \cdot 100$ , где  $V_1$  - объем массы до прессования;  $V_2$  - объем массы после прессования.

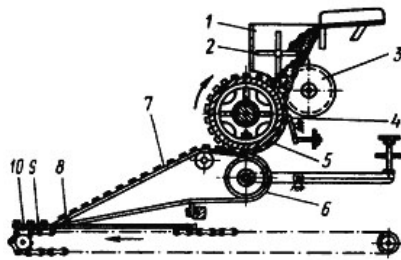


Рис. 50 Схема ротационной формующей машины: 1—бункер; 2—защитная крыльчатка; 3—питающий барабан; 4—нож; 5—формующий барабан; 6—натяжной ролик; 7—движущий тканевой транспортер; 8—ножевая планка; 9—цепной транспортер; 10—металлический трафарет.

Экспериментально установлено, что наибольшая величина  $\beta$  может быть получена при выдержке брикета под давлением и при повторных нагрузках. Степень уплотнения массы зависит от прилагаемого давления, свойств массы, подвергаемой прессованию, некоторых особенностей пресса и режима прессования.

При двустороннем сжатии требуемое давление может быть уменьшено, а брикет получается более равномерной плотности и большей прочности. Работа прессования на один ход пуассона (Дж):

$$A = \int_{h_0}^{h_k} F p dh, \text{ где } F - \text{площадь поперечного сечения; } h_0 - \text{высота брикета; } h_k - \text{конечная высота; } p - \text{давление}$$

прессования

*Технологическое оборудование для формования путем выдавливания (экструзии).* Выдавливающие машины представляют собой достаточно большую группу перерабатывающих машин пищевой промышленности, в которых осуществляется процесс выдавливания жгутов перерабатываемой массы через формующие отверстия матрицы. Формование экструзией имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами: возможность осуществлять процесс непрерывно и с высокой скоростью, что упрощает задачу по созданию поточно-механизированного производства и автоматизации процесса и др. В макаронном производстве на них формуют практически все изделия – трубчатые, сплошные, фигурные и другие. Экструдеры используют в кондитерской промышленности, например, для формирования корпусов конфет из пралиновых масс. Экструдеры используются при производстве колбас, дозировании и формировании сливочного масла, мыла, творога. В хлебопекарной промышленности экструдеры являются основной частью многих тестоделителей. Экструдеры используют при производстве пирожков, пончиков, кукурузных палочек, соломки и хрустящих хлебцев.

Используемые в пищевой промышленности экструдеры довольно разнообразны по конструктивному оформлению. Но все они имеют формующий элемент – матрицу, которая формой и размерами отверстий определяет поперечное сечение экструдированного жгута, и нагнетатель, который должен создать в экструдированной массе необходимое давление для того, чтобы вызвать ее течение через отверстие матрицы с желаемой скоростью.

Матрица (рис. 51) представляет собой плоский металлический диск с отверстиями, через которые продавливается формируемая масса. Форма отверстия матрицы определяет вид изделия. При формировании сплошных изделий форма поперечного сечения отверстий бывает круглая, прямоугольная, квадратная и более сложная. Сложные отверстия с вкладышами применяют при формировании полых изделий.

Материал для матрицы должен быть коррозионно-стойким, обладать антиадгезионными свойствами и высокой прочностью. Для изготовления матриц экструдеров для пищевой промышленности наиболее часто применяют латунь, бронзу, и нержавеющей сталь. Чтобы снизить прилипаемость формируемого продукта, отверстия полируют и хромируют. Широко применяют в настоящее время матрицы, состоящие из металлической обоймы и смежных вставок. Вставки представляют собой смежные гильзы с формующими отверстиями, изготавливаются из пластмасс (тефлон, альгофон, и др.). Преимуществом таких матриц является возможность при одной и той же обойме сменой вставных гильз получать изделия различного сечения.



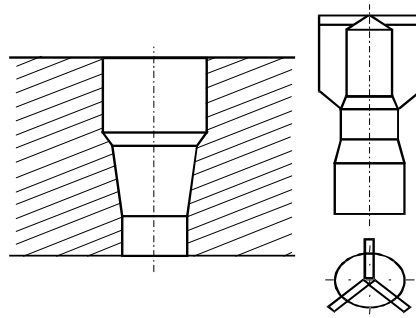


Рис. 51 Общий вид матрицы

Нагнетатель экструдера может быть периодического действия (например, отсадочные машины с периодическим движением нагнетателя) или непрерывного действия (машины, выдавливающие бесконечные жгуты или пласти формуемой массы, которые затем разрезают на заготовки)

На рис. 52 показаны схемы винтового и гидравлического поршневых нагнетательных устройств периодического действия.

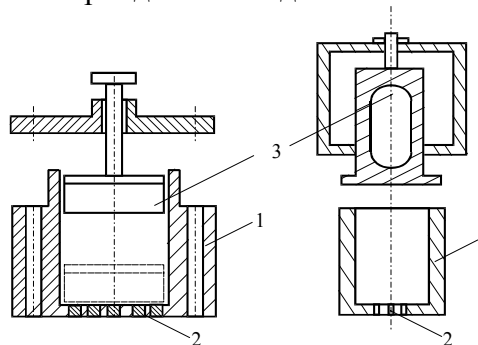


Рис. 52 Схемы винтового и гидравлического поршневых нагнетательных устройств периодического действия

Подобное устройство представляет собой цилиндр 1, одним из торцов которого является матрица 2 с отверстиями определенной формы. Пуансон 3, приводимый в движение гидравлическим или винтовым устройством, входит в этот цилиндр и вытесняет предварительно заложенное в него тесто.

Среди нагнетателей непрерывного действия распространены шнековый, валковый и шестеренный. Схемы нагнетателей представлены на рис. 53.

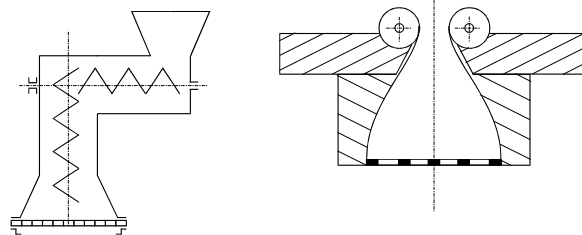


Рис. 53 Схемы шнекового и валкового нагнетателей

Выбор типа нагнетателя зависит как от свойств перерабатываемой массы, так и от технологических требований к ее обработке. Приведем общие рекомендации по выбору типа нагнетателя.

Поршневые и валковые нагнетатели оказывают щадящее воздействие на перерабатываемый продукт и поэтому их целесообразно использовать для формования масс нежной консистенции. Использование поршневого нагнетателя нецелесообразно при включении экструдера в поточную линию, так как этот нагнетатель периодического действия. Валковые нагнетатели лучше всего применять в машинах без матрицы как каландры (каландрование рассматривается как частный случай экструзии), например в тех случаях, когда необходимо получить полуфабрикат в виде ленты, например для формования сухарных плит, тонких листов теста. Толщина слоя ленты при безматричном формовании определяется расстоянием между формующими волками. Шестеренные нагнетатели целесообразно применять для формования однородных и гомогенных материалов. Их недостатком является пульсация создаваемого давления. Их нельзя использовать для формования масс с твердыми включениями, которые могут разрушаться и измельчаться. Одношнековые нагнетатели хорошо работают в сочетании с круглой матрицей

и являются перспективными для формирующих машин в пищевых производствах. Нельзя, однако, считать удачным использование шнекового нагнетателя с прямоугольной матрицей, так как в этом случае невозможно обеспечить равномерность скорости выпрессовывания по ее длине.

*Шнековые экструдеры.* Нагнетатели шнекового типа наиболее характерны для экструзионной техники. Они получили широкое распространение в пищевых производствах. Развитие шнековых экструдеров в различных областях техники связано с внедрением непрерывных методов производства.

На рис. 54 представлена схема одношнекового экструдера. Перерабатываемый материал подается в загрузочную воронку 5 и при вращении шнека 4 внутри цилиндрического корпуса 3 захватывается им, проталкивается по шнековому каналу вперед и нагнетается в предматричную камеру 2. Она заканчивается матрицей 1, через отверстия которой выдавливается продукт.

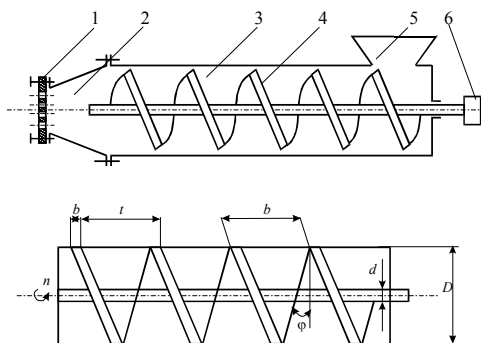


Рис. 54 Схема шнекового экструдера

Загрузочная воронка 5 должна обеспечить запас материала и гарантировать непрерывную его подачу в шнек в необходимом количестве. Даже кратковременное прекращение подачи приводит к падению давления в предматричной камере и колебанию сечения выпрессованного жгута. В связи с этим иногда при формировании материалов со значительной вязкостью в воронке устанавливают питающее устройство (конический шнек, вал с лопатками), который создает подпор и проталкивает материал к шнеку для лучшего заполнения винтового канала.

Шнек является важным рабочим органом экструдера, производительность и устойчивость работы зависят от конструкции и размеров. Основной определяющей характеристикой шнека является его диаметр  $D$ . Диаметр выбирается в зависимости от вида и свойств перерабатываемого продукта, типа получаемого жгута (изделия) и от требуемой производительности экструдера.

Другой важной характеристикой шнека является отношение его длины  $L$  к диаметру  $D$ . Для экструдеров используемых в пищевых производствах это отношение находится в пределах 6...13.

Остальные размеры шнека выбираются по следующим рекомендациям: шаг винтовой нарезки,  $t=(0,7...1,2)D$ ; диаметр вала шнека  $d=(0,44...0,57)D$ , при этом должно быть выполнено условие

$$d \geq \frac{t}{\pi \operatorname{tg} \psi}, \text{ где } \psi - \text{угол трения продукта по шнеку.}$$

Угол наклона винтовой линии  $\varphi$  определяется из соотношения:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{t}{\pi D}$$

Значение угла  $\varphi$  зависит от коэффициента трения продукта по шнеку и рекомендуется принять величину угла  $17...22^\circ$ . Если угол  $\varphi$  выходит за рекомендуемые границы, то требуется коррекция  $t$ .

Для перемещения материала вдоль корпуса необходимо, чтобы трение материала по внутренней поверхности корпуса было больше трения его по шнеку. В противном случае материал будет вращаться вместе со шнеком, не продвигаясь в осевом направлении. Для создания различных коэффициентов трения материала о шнек и о внутреннюю поверхность корпуса применяют разную чистоту обработки поверхности и во многих случаях поддерживают различными температурами корпуса и шнека.

Для обеспечения возможности регулирования температуры или поддержания ее постоянной во время процесса корпус делают с электрическим обогревом или с рубашкой, в которую пропускается жидкость - теплоноситель. Конструкция корпуса с рубашкой позволяет осуществлять не только нагревание, но при необходимости охлаждение готового продукта.

При вращении шнек захватывает поступающий из загрузочной воронки продукт и проталкивает его вперед, увеличивая при этом гидростатическое давление в материале от загрузочной зоны к переднему

краю шнековой камеры. Нагнетательный материал оказывается заключенным между движущимися поверхностями (основание и боковые стенки шнекового канала) и неподвижной внутренней поверхности корпуса. Таким образом, вследствие относительного движения корпуса и шнека возникает вынужденный (прямой) ток, который определяет нагнетание материала к формующей головке. С другой стороны, вследствие повышенного давления в формующей головке возникает и противоток, который можно рассматривать как течение материала в обратном направлении – от прессующей головки к зоне загрузки. На практике, однако, в канале шнека никогда не возникает противоток, а давление в головке оказывает своеобразное ограничение прямому потоку, которое рассматривается теоретически как противоток, а производительность шнекового нагнетателя – как суммарный расход двух потоков.

Производительность экструдера можно определить графически, анализируя расходно–напорную характеристику (РНХ) нагнетателя и формующей головки. РНХ нагнетателя – это зависимость создаваемого им расхода материала  $Q$  от противодействия  $\Delta P$  на выходе, отражающее сопротивление матрицы перемещению перерабатываемой массы. РНХ формующего органа (матрицы) является зависимостью расхода  $Q$  через отверстия матрицы от давления в предматричной камере. РНХ шнекового нагнетателя в координатах производительность – давление представляет собой прямую отрицательного наклона, так как при отсутствии противодействия в канале имеется только вынужденный поток и производительность нагнетателя максимальна (точка пересечения прямой с ординатой). С увеличением противодействия появляется и постепенно возрастает противоток, следовательно, производительность должна уменьшаться (до 0 при закрытом выходе).

Кривая РНХ формующей головки проходит через начало координат, ибо при нулевом давлении в головке течение через матрицу отсутствует. С ростом давления производительность увеличивается.

Анализ РНХ шнекового нагнетателя и формующей головки позволяет определить производительность экструдера и развиваемого при этом давления на входе в матрицу для конкретного сочетания шнек-матрица.

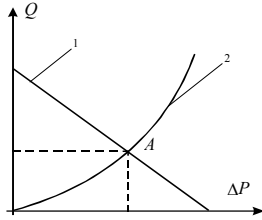


Рис. 55 Расходно–напорные характеристики:  
1- РНХ нагнетателя, 2 – РНХ формующей головки.

Графически это решение представляется точкой пересечения графиков рабочих характеристик шнекового нагнетателя и формующей головки. Точка пересечения  $A$  является рабочей точкой экструдера. Её координаты определяют производительность экструдера и создание им давления.

Математическое описание работы экструдера может быть получено решением системы уравнений, состоящей из уравнений неразрывности, движения, энергии и уравнений реологического состояния экструдруемого материала.

Графический метод совмещенных кривых (рис. 56) очень удобен для анализа работы экструдера, так как из многообразия возможных режимов выпрессовывания можно выбрать наилучшие характеристики и режим работы экструдера.

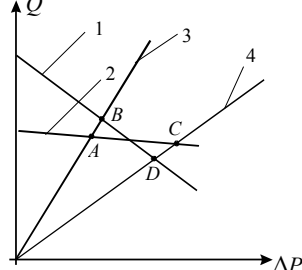


Рис. 56 Графический метод совмещенных кривых

Прямые 1 и 2 (рис. 56) представляют собой РНХ шнековых нагнетателей, различающихся только глубиной шнекового канала (1- глубокий канал, 2 – неглубокий канал). Головки представлены прямыми 3 (головка меньшего сопротивления) и 4 (головка большего сопротивления). При установке в экструдер

головки меньшего сопротивления нагнетатель с глубоким каналом обеспечит более высокую производительность, чем нагнетатель с меньшим каналом (его рабочая точка выше рабочей точки  $A$  мелкого шнека).

Если установлена головка большего сопротивления, то лучшие результаты даст нагнетатель с мелким каналом шнека (рабочая точка  $C$ ), так как одновременно обеспечит большую производительность и создаст более высокое давление, чем нагнетатель с глубоким каналом шнека (с рабочей точкой  $D$ ). Таким же образом можно рассмотреть влияние изменения длины шнека и частоты вращения, температуры материала в головке и в нагнетателе и других параметров на производительность экструдера и создаваемое им давление.

Экструдеры могут работать как самостоятельные машины, а также входят в состав комплексных машин, включающих целый ряд операций.

*Шнековый макаронный пресс ЛПЛ–2М.* Пресс (рис. 57) осуществляет непрерывное дозирование основных компонентов - воды и муки. Из этих компонентов на нем замешивается тесто, которое затем подпрессовывается. Вышедшие из формующих отверстий влажные жгуты обдуваются горячим воздухом для подсушки. Далее все на той же машине осуществляется резка жгутов.

Мука дозируется шнековым устройством, совершающим прерывистое вращение, частота которого вместе с геометрией шнека определяет расход муки. Вода дозируется путем поддержания определенного уровня воды в емкости, из которой она забирается вращающимся барабанным устройством. В корытообразной емкости помещен вал с лопатками, плоскости которых развернуты таким образом, что составляют как бы отдельные участки шнека на валу. Это обеспечивает не только перемешивание, но транспортирование полуфабриката от того места месильного корыта, где установлены дозаторы муки и воды к противоположному краю, где в дне имеется выпускное отверстие.

Тесто из месильного устройства поступает в шнековый канал, по которому перемещается к прессующей головке. По мере движения в прессующем корпусе тесто проходит вакуумирующее устройство. Прессующая головка представляет собой куполообразную емкость, в нижней части которой расположена матрица.

Сырые жгуты отформованного полуфабриката обдуваются теплым воздухом, что способствует образованию на поверхности полуфабриката корочки, предохраняющей изделия от склеивания при дальнейшей их обработке. Отрезное устройство отделяет от непрерывно выпрессовываемых жгутов изделия определенной длины, которые для окончательной обработки направляются в сушильные камеры.

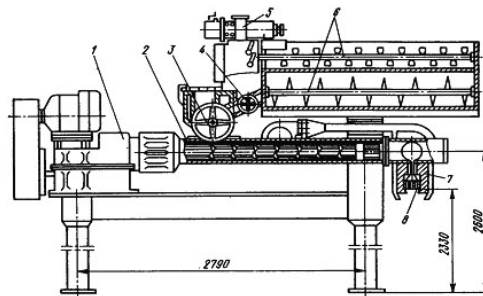


Рис. 57 Схема шнекового макаронного процесса ЛПЛ–2М: 1–привод; 2– два прессующих корпуса; 3– вакуумный тестомеситель; 5–дозировующее устройство; 6–тестомесители; 7–тубус; 8–прямоугольные матрицы

*Расчет валкового экструдера.* Это экструдер представляет собой пару валков вращающихся навстречу один другому и извлекающие массу через зазор между ними в предматричную зону.

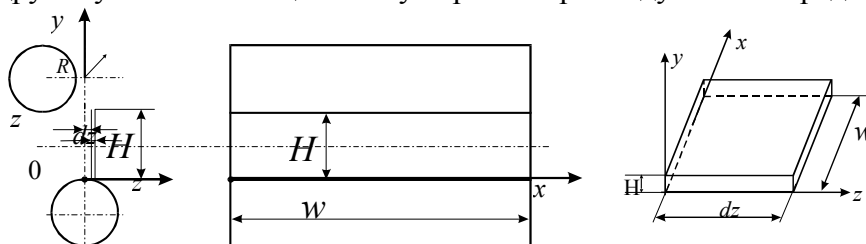


Рис. 58 Расчетная схема валкового экструдера

Выделим на расстоянии  $z$  (рис. 58) от плоскости осей валков  $x$ - $y$  двумя параллельными плоскостями элемент межвалкового объема длиной  $dz$ , высотой  $H$  и шириной  $W$ . Выделенный объем можно рас-

считать как прямоугольный канал с двумя подвижными и двумя неподвижными станками, которыми соответственно являются поверхности волков и торцовые плоскости ограничивающие межвалковый объем.

Рассмотрим изотермическое ламинарное и стационарное течение несжимаемой ньютоновской жидкости в этом канале

$$\rho \frac{dV_z}{dt} = 0 = -\frac{dP}{dz} + \mu \left( \frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} \right),$$

где  $\mu$  – вязкость;  $V$  – скорость частиц жидкости. Граничные условия:  $V_z(x,0) = V_z$ ;  $V_z(x,H) = V_z$ , где  $V_z$  – проекция скорости точек поверхности вала на ось  $z$ . Решение этой задачи относительно  $V_z$  можно получить обычным методом разделения переменных.

Объемную производительность интеграла.

$$Q = \int_0^H \int_0^W V_z dx dy .$$

Конечный результат получают в

$$Q = V_z W H F_1 - \frac{W H^3}{12 \mu} \frac{dP}{dz} F_2,$$

где  $F_1 \approx 1 - 0,5z^2/WR$ ,  $F_2 \approx 1 - 0,578z^2/WR$ . для построения РНХ нагнетателя

*Тестоокруглительные машины.*

В машинах первой группы округление кусков теста производится между неподвижно установленными спиральным желобом и вращающейся частью.

В машинах второй группы округление кусков производится между цилиндрическими поверхностями, например образующийся вращающимся барабаном и движущейся лентой или двух противоположно вращающихся барабанов, расположенных аналогично эксцентрикам.

В машинах третьей группы округление производится плоскими движущимися лентами трех транспортеров, два из которых установлены под углом к горизонтальному транспортеру.

Ленты транспортеров движутся с различными скоростями в противоположных направлениях, а лента горизонтального транспортера имеет результирующую скорость  $V$  двух боковых транспортеров:  $V = V_1 - V_2$

Кроме формования шарообразной формы при округлении тесто уплотняется и улучшается его пористость. Качество округления зависит от консистенции, выдержанности теста и работы округлителя. Если тесто нормальное, заготовки будут хорошо округляться. В противном случае от заготовок будут отщипываться небольшие кусочки и нарушаться масса. Во избежание налипания и размазывания теста (для изделий более влажности) необходимо создавать обдувку воздухом или покрывать поверхность чаши водоотталкивающим веществом.

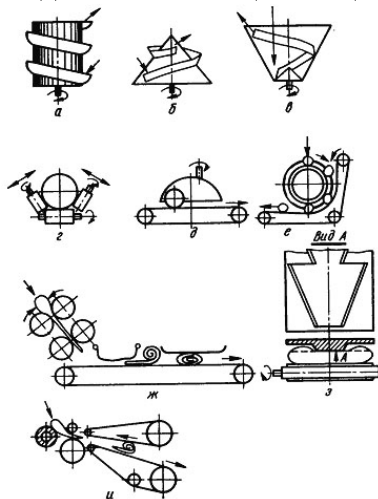


Рис. 60 Тестоокруглительные (а, б, в, г, д, е) и закаточные (ж, з, и) машины

определяют при вычислении двойного

виде

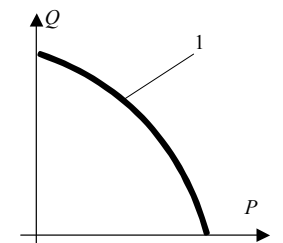


Рис. 59 Расчетная РНХ нагнетателя

Полученное выражение используют (рис. 59).

В зависимости от формы и характера поверхности рабочих органов, применяемых для округления кусков теста, тестоокруглительные машины подразделяются на три группы: с конической, цилиндрической и плоской рабочей поверхностью.

*Тестозакаточные машины.* Процесс формирования тестовых заготовок в тестозакаточных машинах состоит из трех операций: раскатывание округленного куска, завертывание его в рулон и формирование рулона в тестовую заготовку требуемой формы. Раскатывание округленного куска теста в блин осуществляется двумя парами волков.

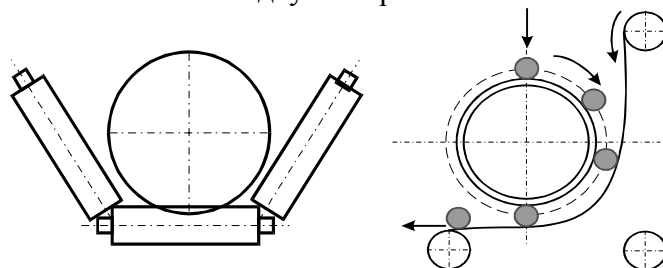


Рис. 61 Тестозакаточные машины барабанные и ленточные.

Первая пара раскатывает блин большей толщины, вторая более тонкий. Волки вращаются на встречу друг другу с разной скоростью. Завертывание раскатанного теста в рулон, как правило, производится подвешенной на ленты транспортера прутковой или панцирной сеткой или двумя бесконечными транспортерами с противоположными вращениями.

Тестозакаточные машины бывают двух видов: барабанные и ленточные (рис. 61...63).

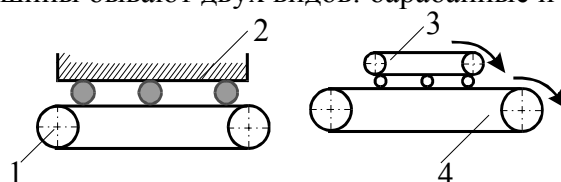


Рис. 62 Схема рабочих органов ленточной тестозакаточной машины для ржаного теста: 1- движущаяся лента, 2- неподвижная плита, 3,4 – движущиеся бесконечные ленты.

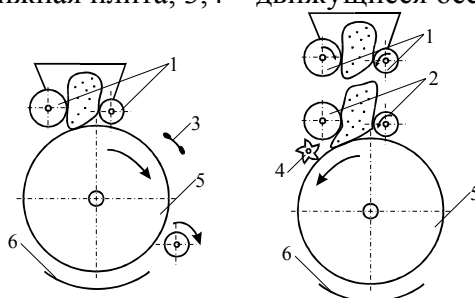


Рис. 63 Схема рабочих органов барабанной тестозакаточной машины для пшеничного теста

*Тестоокруглительная машина Т1-ХТН* (рис. 64) представляет собой вращающуюся чугунную чашу, внутри которой расположен неподвижный спиральный желоб. Куски теста неправильной формы поступают на дно вращающейся чаши и перемещаются, перекатываясь по спиральному желобу, образованному в месте стыка спирали и чаши.

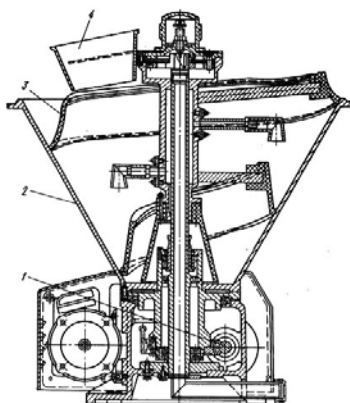


Рис. 64 Тестоокруглительная машина Т1-ХТН: 1–привод; 2–вращающаяся чаша; 3–формирующая спираль; 4 –приемная воронка.

Доходя до верхней части желоба куски теста приобретают нужную форму.

Производительность  $\Pi_{ок}$  ( $c^{-1}$ ) округлителя с конической несущей поверхностью

$$\Pi_{ок} = \frac{\lambda \pi D n \mu}{d},$$

где  $\lambda$ - коэффициент учитываемого отклонения размеров кусков теста (0,8...0,85);  $D$  - минимальный диаметр чаши в месте контакта с тестовой заготовкой;  $n$  - частота вращения работающего органа;  $\mu$ - коэффициент, учитывающий отставания куска теста от несущей поверхности;  $d$ - средний диаметр округленного куска теста (определяется по массе куска).

Производительность ленточной тестоокруглительной машины

$$\Pi_{ок} = V_n / a,$$

где  $V_n = \frac{V_n - V_{\phi}}{2} \varepsilon$  - скорость перемещения куска теста при округлении;  $a$  - шаг кусков теста;  $V_n$  - скорость несущей ленты;  $V_{\phi}$  - скорость формующей ленты;  $\varepsilon$  - коэффициент проскальзывания ( $\varepsilon=0,8$ ).

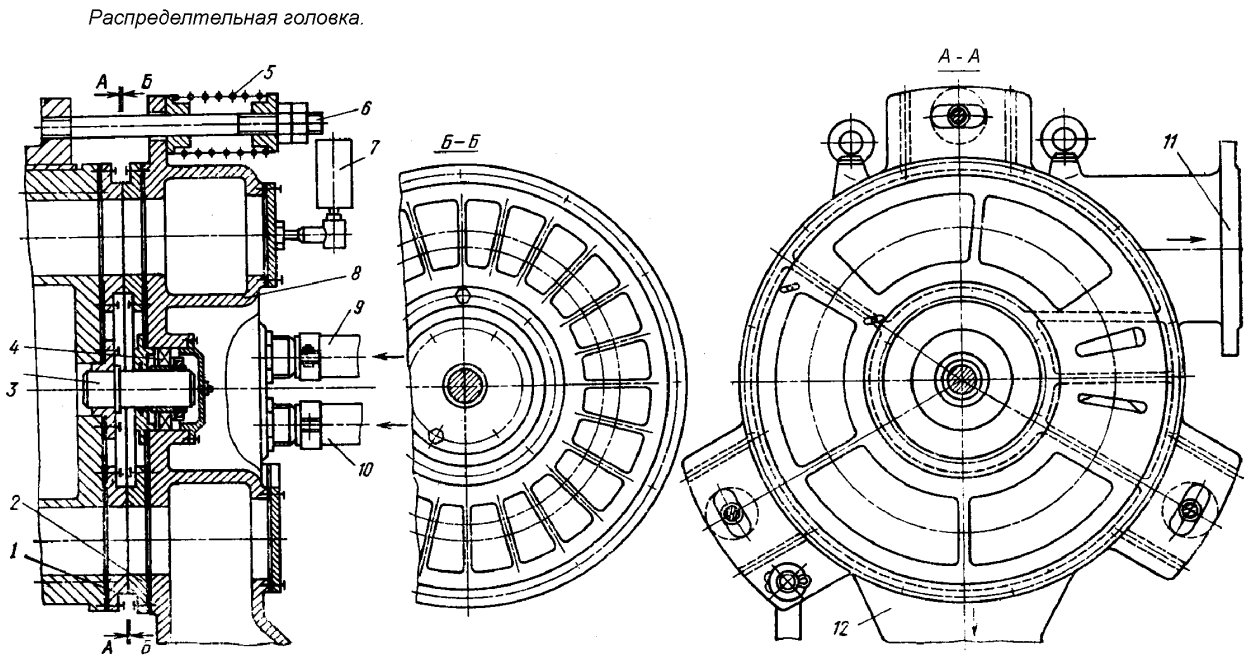


Рис. 20 Распределительная головка

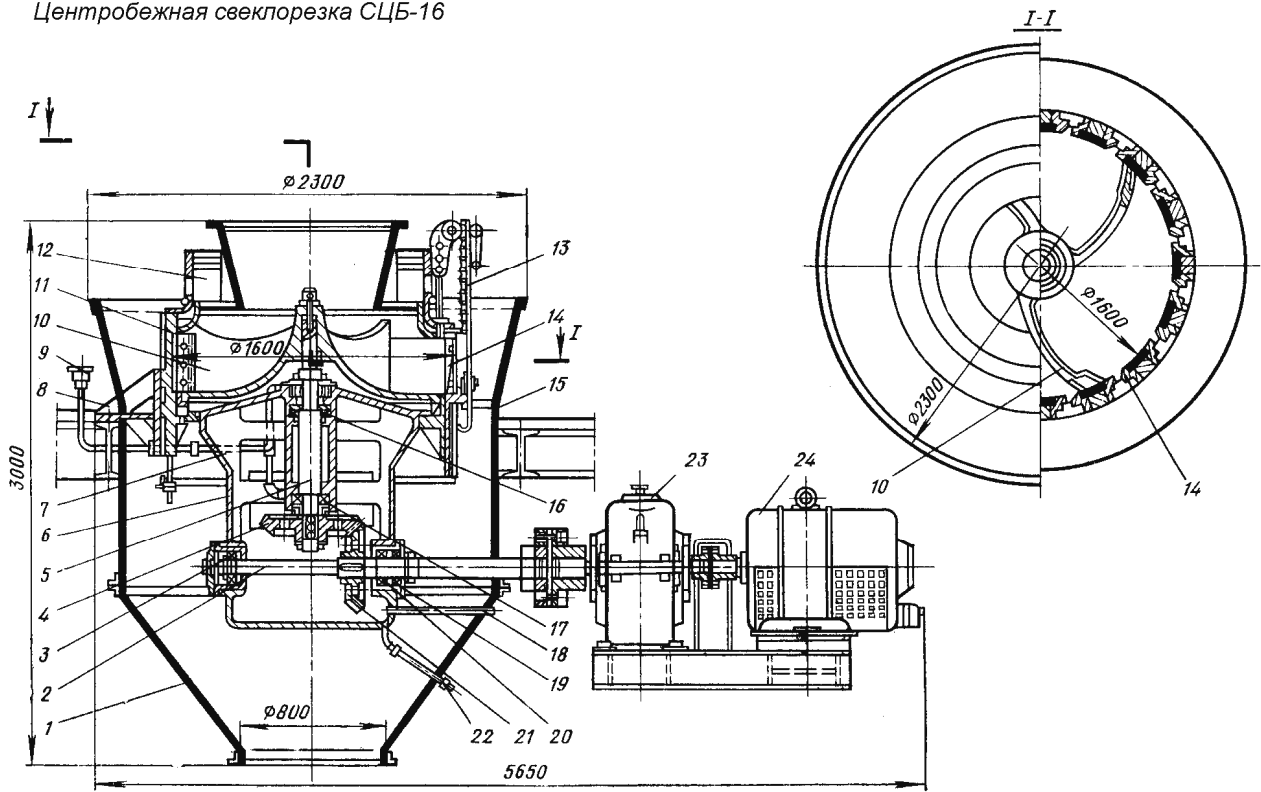


Рис. 9 Центробежная свеклорезка СЦБ16