

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра «Машины и аппараты химических
и силикатных производств»**

МАШИНЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Лекции

**для студентов специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты
химических производств и предприятий строительных материалов»
специализации 1-36 07 01 01
«Машины и аппараты химических производств»**

доц., к.т.н. Гуляев Владимир Николаевич
ст. преп., к.т.н. Петров Олег Алексеевич

Минск 2009

ВВЕДЕНИЕ

Цель преподавания дисциплины «Машины и аппараты химических производств» заключается в подготовке специалистов по специализации 1-36 07 01 01 «Машины и аппараты химических производств» для производственной, проектно-конструкторской и исследовательской деятельности в области создания и эксплуатации технического оборудования химических производств.

Основными задачами изучения курса являются:

– обучение студентов эффективному использованию знаний, полученных по естественно-научным и общеинженерным дисциплинам, для решения конкретных практических задач в области машин и аппаратов химических производств;

– формирование у студентов знаний по вопросам конструктивного исполнения основных машин и аппаратов химических производств, режимов их работы, особенностей расчетов, требований, предъявляемых к оборудованию химических предприятий (обеспечение устойчивого заданного режима, возможности применения автоматического контроля и регулирования, легкость ремонта и монтажа, надежность и безопасность эксплуатации), путей интенсификации работы оборудования, общих перспектив развития аппарато- и машиностроения.

Классификация химических машин и аппаратов

Классификацией называется логическая операция, состоящая в разделении множества предметов по обнаруженным сходствам на отдельные группы.

Классификация машин и аппаратов осуществляется для упорядочения номенклатур и специализации заводов химического машиностроения. В качестве примера можно привести укрупненную классификацию химического оборудования, включающую 20 групп. При этом было выделено 15 групп оборудования по химическому процессу :

1. Аппараты емкостного типа с перемешивающими устройствами
2. Аппараты емкостного типа с неподвижными устройствами
3. Фильтры
4. Центрифуги
5. Жидкостные сепараторы
6. Кристаллизаторы
7. Грануляторы
8. Теплообменные аппараты
9. Выпарные аппараты
10. Колонные аппараты
11. Сушильные аппараты
12. Аппараты с вращающимися барабанами для обжига, сушки и кристаллизации
13. Электролизеры
14. Краскотерочные машины
15. Промышленные печи

Три группы по специфическим качествам самой аппаратуры:

1. Аппараты высокого давления ($P > 64 \text{ кг/см}^2$)
2. Эмалированная аппаратура
3. Аппараты из неметаллических материалов

Необходимо также дать определение “машина” и “аппарат”

Машиной - называется устройство для переработки материала, причем, материал может изменить форму, размеры, но не меняет химического состава.

Аппаратом - называется устройство для переработки материала, при этом материал меняет свои физико-механические свойства.

І. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Процессы измельчения материалов широко применяются в химической промышленности. Темпы развития химической и других смежных отраслей промышленности требуют совершенствования конструкций оборудования для измельчения, повышения его надежности и работоспособности. Кроме того, остро стоит проблема снижения себестоимости продукции, повышения ее качества и увеличения рентабельности производства. Данная проблема может быть решена путем широкого внедрения новой техники и повышения эффективности использования действующего оборудования.

Необходимая интенсификация процесса измельчения может быть достигнута только на основе глубоких знаний как принципа действия и конструкции соответствующего оборудования, так и особенностей его эксплуатации.

Целью данного раздела является ознакомление с основными конструкциями оборудования для измельчения материалов, теоретическими основами процесса измельчения, а также методиками расчета дробилок и мельниц.

ПРОЦЕССЫ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Измельчением называют процесс разрушения кусков твердого материала при критических внутренних напряжениях, создаваемых в результате какого-либо нагружения и превышающих соответствующий предел прочности. Напряжения в материале могут создаваться механическим нагружением, температурными воздействиями, ультразвуковыми колебаниями и др. Наибольшее применение в современном производстве имеют механические способы измельчения. Измельчение делят на дробление и помол, а машины, применяемые для этих целей, называются дробилками и мельницами. В зависимости от размеров частиц продукта различают следующие виды измельчения:

Дробление	d_n , мм	d_k , мм
Крупное	1000	250
Среднее	250	20
Мелкое	20	1÷5
Помол		
Грубый	1÷5	0,1÷0,04
Средний	0,1÷0,04	0,005÷0,015
Тонкий	0,1÷0,04	0,001÷0,005
Сверхтонкий		< 0,001

Основной характеристикой процесса измельчения является **степень измельчения**, которая определяется соотношением средневзвешенных размеров частиц материала до и после измельчения (линейная):

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

Обычно берут размеры «наибольших кусков», определяемых отверстием сита, через которое проходит сыпучий материал.

Степень измельчения отражает технологию и определяет параметры измельчителей.

С целью обеспечения эффективности, измельчение материала от исходной до конечной крупности осуществляется, как правило, в несколько приемов, с последовательным переходом от крупного дробления к более мелкому и к помолу с постадийным разделением материала по классам. Следовательно, процесс измельчения целесообразно осуществлять последовательно на нескольких измельчителях. Каждый отдельный измельчитель выполняет часть общего процесса, называемую стадией измельчения. Число стадий измельчения определяется требуемой степенью измельчения. Например, если в исходном твердом материале содержатся куски размером до 1200 мм, а готовый продукт должен содержать частицы с максимальным размером до 40 мм, то общая степень измельчения $i = 1200/40 = 30$.

Степень измельчения, достигаемая на одной машине, для большинства видов дробильного оборудования за один цикл не превышает 3...7 (т. е. для 30 – несколько машин).

В то же время следует отметить, что увеличение стадий дробления приводит к повышению капитальных затрат на строительство заводов, переизмельчению материала и к удорожанию эксплуатации завода. Поэтому выбор схемы измельчения следует осуществлять из условия обеспечения минимального числа стадий дробления. Однако, в ряде случаев только применение многостадийных схем (четырёх- и пятистадийных) обеспечивает получение готового продукта в необходимом объёме и высокого качества.

Энергозатраты, нагрузки на элементы измельчителей и качество продукта зависят от прочности, хрупкости, твердости, упругости, абразивности и плотности твердых материалов.

Прочность – свойство твердого материала сопротивляться разрушению при возникновении внутренних напряжений, появляющихся в результате какого-либо нагружения. Обычно прочность твердых материалов оценивается пределом прочности при сжатии σ_c . По величине σ_c измельчаемые материалы делят на

- мягкие ($\sigma_c < 80$ МПа),
- средней прочности ($\sigma_c = 80 \div 150$ МПа),
- прочные ($\sigma_c = 150 \div 250$ МПа) и
- очень прочные ($\sigma_c > 250$ МПа).

При других видах деформаций прочность твердых материалов существенно ниже. Например, предел прочности известняка, гранита (от месторождения) составляет: при растяжении 2...5 %, при изгибе 8...10 % и при сдвиге 10...15 % предела прочности при сжатии.

Хрупкость – свойство твердого материала разрушаться без заметных пластических деформаций. Она определяется на специальном копре (копёр – типа сваи забивают) числом ударов мерного груза. По числу ударов, выдерживаемых образцами, твердые материалы делят на

- очень хрупкие (до 2),
- хрупкие (2...5),
- вязкие (5...10),
- очень вязкие (более 10).

Твердость – способность материала сопротивляться пластич. деформации или разрушению при местном силовом воздействии; одно из осн. механических свойств материалов. Зависит гл. обр. от модуля упругости при деформации и предела прочности при разрушении.

Наибольшее распространение получили методы измерения твердости по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу.

При определении по Бринеллю в испытуемую поверхность металла вдавливают закаленный шарик диаметром d 2,5÷5 или 10 мм при заданной нагрузке P от 625 Н до 30 кН. Число твердости по Бринеллю (в МПа), НВ – отношение нагрузки к площади поверхности отпечатка.

Для получения сопоставимых данных относительно твердые материалы (НВ > 1300) испытывают при отношении $P/d^2 = 30$, материалы средней твердости (НВ 300-1300) – при $P/d^2 = 10$, мягкие (НВ < 300) – при $P/d^2 = 2,5$. Испытания проводят на стационарных или переносных твердомерах при плавном приложении нагрузки и постоянстве выдержки ее в течение определенного времени (обычно 30 с).

При определении твердости по Виккерсу в поверхность материала вдавливают алмазный индентор в виде наконечника, имеющего форму правильной четырехгранной пирамиды с двугранным углом при вершине в 136° . Вдавливающая нагрузка выбирается от 50 до 1000 Н в зависимости от твердости и толщины образца или изделия. Число твердости по Виккерсу, НV – определяется так же, как при измерении по Бринеллю.

При определении твердости материалов (гл. обр. металлов) по Роквеллу в поверхность вдавливают алмазный индентор в виде конуса с углом при вершине 120° (шкалы А и С) – для сверхтвердых и твердых материалов или в виде стального шарика диаметром 1,588 мм или 1/16 дюйма (шкала В) – для материалов с низкой твердостью; числа твердости – соотв. HRA и HRB. За единицу твердости принята величина, соответствующая осевому перемещению конуса на 0,002 мм при нагрузке 100 Н.

При определении твердости резин, каучуков и др. эластичных материалов в их пов-сть вдавливают конусную иглу с затупленной вершиной – метод Шора. Глубину погружения измеряют во время действия нагрузки и характеризуют величиной деформации пружины, подпирающей

индентор. В случае резины твердость, равная 0, соответствует полной глубине погружения иглы, твердость, равная 100 – силе выталкивания иглы из резины (8,06 Н и более).

К статическим методам относят метод склерометрии – царапания поверхности некоторых металлов, сплавов, пластмасс и лакокрасочных материалов индентором в виде алмазной пирамиды, конуса, шара или карандашами разл. твердости. Твердость оценивают по нагрузке, необходимой для создания царапины, по ширине царапины, образующейся при данной нагрузке, или по усилию, необходимому для царапания. Для определения относительной твердости минералов используют шкалу Мооса.

Динамические методы основаны на нанесении отпечатка шариком при ударной нагрузке, когда T определяется как сопротивление материала пластич. деформированию при ударе или по отскоку от материала свободно падающего бойка или маятника с бойком. В последнем случае T определяется как сопротивление материала упругой и упруго-пластич. деформации. Иногда используют метод определения твердости по затуханию колебаний маятника при его контакте с испытуемым материалом, по сопротивлению абразивному изнашиванию, резанию, шлифованию и др.

Упругость (эластичность) — свойство вещества оказывать влияющей на него силе механическое сопротивление и принимать после её спада исходную форму. Противоположность упругости называется пластичность.

Абразивность – способность перерабатываемого материала изнашивать рабочие органы машины. Ее оценивают в граммах износа эталонных бил, отнесенных к одной тонне измельченного материала.

ТЕОРИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Основной вопрос теорий измельчения состоит в установлении связи между затратами энергии и размерами конечных и начальных кусков материала, их формой, взаимным расположением, физико-механическими свойствами и т.п. В связи с многочисленностью влияющих факторов существующие теории измельчения характеризуют энергозатраты в общем виде с учетом лишь наиболее важных параметров процесса и материала.

Согласно гипотезе П. Риттингера работа при измельчении материала пропорциональна

$$A = K_1 \Delta F, \quad (1.1)$$

где K_1 – коэффициент пропорциональности.

Величину ΔF можно выразить через начальные d_n и конечные d_k размеры кусков измельчаемого материала. Если предположить, что куски имеют форму куба с размером ребер d_n до и $d_k = d_n/i$ после измельчения, то можно определить

$$\Delta F = F_k - F_n = 6i^3(d_n/i)^2 - 6d_n^2 = 6d_n^2(i-1).$$

При дроблении Q (m^3) материала со средним размером кусков d_n общее число измельчаемых частиц равно Q/d_n^3 , а работа дробления в соответствии с формулой (1.1)

$$A = 6K_1 Q(i-1)/d_n.$$

При массе измельчаемого материала Q_m (кг)

$$A = 6K_1 Q_m(i-1)/(\rho d_n) = K_R Q_m(i-1)/d_n,$$

где ρ – плотность материала; K_R – коэффициент пропорциональности между затраченной работой и вновь образованной поверхностью. площади вновь образованной поверхности ΔF :

Теория Риттингера не учитывает изменения формы тел при измельчении. Вследствие этого она не пригодна для описания процессов дробления в случаях, когда готовый продукт имеет малую удельную поверхность.

Кирпичев В.Л. (1874) и Ф. Кик (1885) установили, что энергия, необходимая для одинакового изменения формы подобных и однородных тел, пропорциональна их объемам, т.е.

$$A = k_2 d_n^3,$$

где k_2 – коэффициент пропорциональности.

При измельчении Q_m (кг) материала со средним размером кусков d_n общее количество измельчаемых кусков равно $Q_m / (\rho d_n^3)$, соответственно, работа измельчения

$$A = k_2 Q_m / \rho,$$

где ρ – плотность куска, кг/м³.

$$A = \frac{\sigma^2 V}{2E}, \text{ тогда очевидно}$$

$$k_2 = \frac{\sigma^2}{2E},$$

где σ – предел прочности твердого тела; E – модуль упругости (Юнга).

Стэдлер развил теорию Кирпичёва-Кика с учетом степени измельчения.

$$A = \frac{\sigma^2 V}{2E} \cdot \frac{\lg i}{\lg a}, \text{ где } i \text{ и } a \text{ – линейная и объемная степени измельчения.}$$

Рассмотренные гипотезы измельчения отражают только часть сложных процессов, происходящих при измельчении.

Теория Кирпичева-Кика оценивает энергию, расходуемую на деформирование материала, и не учитывает затраты на образование новых поверхностей. Ее целесообразно применять при крупном и среднем дроблении, когда влияние вновь образованных поверхностей незначительно. Теория Риттингера не учитывает затраты энергии на упругую деформацию кусков. Она наиболее применима при мелко дроблении и помоле материалов.

В реальном процессе измельчения деформирование кусков и образование новых поверхностей происходит одновременно. В связи с этим многие ученые стремились оценить эти явления в комплексе. Так, П.А. Ребиндер (1940) и Ф. Бонд (1951) предложили определять энергозатраты при дроблении с учетом работы как деформации кусков, так и образования новых поверхностей.

$$A = \delta^2 V / 2E + K \Delta F$$

На основании опытных исследований предложена эмпирическая формула для расчета мощности электродвигателя дробилок:

$$N = 0,13 E_i K_m Q_m (\sqrt{i} - 1) / \sqrt{d_n}, \text{ кВт,}$$

где E_i – энергетический показатель, зависящий от физико-механических свойств измельчаемого материала; K_m – коэффициент масштабного фактора (определяется в зависимости от d_n [3]); d_n – средневзвешенный размер кусков исходного материала, м; Q_m – производительность, кг/с.

КЛАССИФИКАЦИЯ МАШИН ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

В зависимости от назначения и принципа действия в машинах для измельчения могут использоваться различные виды нагрузок: раздавливание (сжатие куска), излом (изгиб), раскалывание (эквивалентно растяжению), истирание и удар (рис.).

Как правило, перечисленные виды силовых нагрузок в процессе измельчения действуют одновременно, например, раздавливание и истирание, удар и истирание и др. Необходимость в различных видах нагрузок, а также в различных по принципу действия конструкциях и размерах машин вызвана многообразием свойств и размеров измельчаемых материалов и различными требованиями к крупности исходного материала и готового продукта. Однако при работе измельчителей в зависимости от их конструкций преобладает тот или иной способ измельчения.

Имеются практические рекомендации по использованию соответствующих видов нагрузок в зависимости от типа измельчаемого материала. Так, дробление прочных и хрупких материалов целесообразно осуществлять раздавливанием и изломом, а прочных и вязких – раздавливанием и истиранием. Крупное дробление мягких и хрупких материалов предпочтительно выполнять раскалыванием, среднее и мелкое – ударом. В промышленности дробление материалов проводят, как правило, сухим способом. Реже применяют мокрое дробление, когда в загрузочные устройства машин разбрызгивают воду для уменьшения пылеобразования.

Помол твердых материалов осуществляют ударом и истиранием. Также как и дробление, помол может быть сухим и мокрым. По сравнению с сухим, мокрый помол экологически более совершенен и более производительен. Однако мокрый помол может применяться только тогда, когда допускается контакт измельчаемого материала с водой.

По способу воздействия на измельчаемый материал различают дробилки, разрушающие материал сжатием (щековые, конусные и валковые дробилки) и ударом (роторные и молотковые дробилки).

В щековых дробилках измельчение материала происходит, в основном, раздавливанием в камере между щеками при периодическом их сближении. При отходе подвижной щеки от неподвижной измельченный материал выпадает из дробилки. Одновременно при сжатии кусков имеет место их относительное перемещение, вследствие чего куски истираются. При рифленых рабочих поверхностях щек измельчение кусков материала может сопровождаться также раскалыванием и изломом.

В конусных дробилках разрушение материала происходит раздавливанием, изломом и истиранием при обкатывании подвижного конуса внутри неподвижного. При этом происходит периодическое сближение и отход от рабочих поверхностей конусов, в принципе, как в щековых дробилках.

В валковых дробилках материал измельчается в сужающемся пространстве между вращающимися навстречу друг другу валками путем раздавливания. При использовании рифленых и зубчатых валков материал измельчается также раскалыванием и изломом.

В роторных и молотковых дробилках ударного действия измельчение материала происходит за счет удара по кускам вращающихся бил или молотков, а также соударения отброшенных кусков с отражательными элементами машин.

В шаровых барабанных мельницах материал измельчается во вращающемся барабане путем удара мелющих тел, падающих с некоторой высоты. Кроме того, при относительном движении мелющих тел и частиц материала происходит истирание последних.

В вибрационных мельницах измельчение материала осуществляется в барабане, заполненном мелющими телами, ударом и истиранием при высокочастотных колебаниях корпуса.

В струйных мельницах измельчение материала происходит истиранием при соударении частиц между собой и со стенками рабочей камеры при хаотическом движении частиц в газовом потоке высокой турбулентности.

Машины для измельчения делят на дробилки и мельницы.

По конструктивным признакам различают дробилки: щековые, валковые, конусные, ударного действия (роторные и молотковые). Пальцевые измельчители и бегуны занимают промежуточное положение между дробилками и мельницами, так как их можно применять как для мелкого дробления, так и для крупного помола.

Мельницы делят на барабанные (тихоходные), роликовые, маятниковые, кольцевые и другие (среднеходные), молотковые, вертикальные, шахтные (ударные), вибрационные и струйные.

МАШИНЫ ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Щековые дробилки

Щековые дробилки применяют преимущественно для крупного и среднего дробления различных материалов (камня, угля, бетона, отходов (дорожн. покрытия) и др.) во многих отраслях народного хозяйства. Главным параметром щековых дробилок является размер приемного отверстия камеры дробления, образуемой подвижной и неподвижной щеками (ширина и длина, $B \times L$). Отечественная промышленность (СНГ) выпускает дробилки с размерами приемного отверстия $L \times B$ (мм): от 250×160 до 2500×2100 .

Классификацию щековых дробилок осуществляют по характеру движения основного рабочего органа (подвижной щеки), так как именно это определяет важнейшие технико-эксплуатационные параметры дробилок. По принципиальным кинематическим схемам различают щековые дробилки с простым (ЩДП) и со сложным (ЩДС) движением щеки.

В дробилках с простым движением щеки движение от кривошипа к подвижной щеке передается кинематической цепью. При этом траектории движения подвижной щеки представляют собой или прямые линии или части дуги окружности. В дробилках со сложным движением щеки кривошип и подвижная щека образуют кинематическую пару. В этом случае траектории движения точек подвижной щеки представляют собой замкнутые кривые, чаще всего эллипсы.

В ЩДП материал измельчается раздавливанием и, частично, изломом и раскалыванием, поскольку на обеих щеках установлены дробящие плиты с рифлениями в продольном направлении.

В дробилках со сложным (ЩДС) движением щеки рычажный механизм имеет более простую схему.

Кинематическая схема ЩДП позволяет создавать относительно большие нагрузки на измельчаемый материал, чем в ЩДС, при одинаковых вращательных моментах на приводных валах. Это особенно важно при дроблении больших кусков прочных материалов. Существенным недостатком ЩДП является малый ход сжатия в верхней части камеры дробления. Для ЩДС характерен значительный износ дробящих плит. Однако конструкция ЩДС, в целом, более проста и менее металлоемка по сравнению с ЩДП.

В зависимости от конструкции механизма, приводящего в движение щеку, различают дробилки с рычажным и кулачковым механизмами, а также с гидравлическим передаточным механизмом.

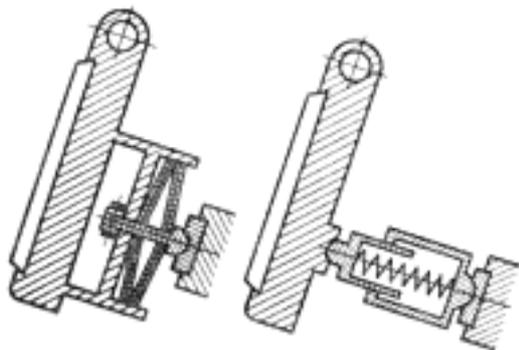
Циклический характер работы щековых дробилок (максимальное нагружение при сближении щек и холостой ход при их расхождении) создает неравномерную нагрузку на двигатель. Для выравнивания нагрузки на приводном валу устанавливают маховик и шкив-маховик. Маховики «аккумулируют» энергию при холостом ходе и отдают ее при ходе сжатия.

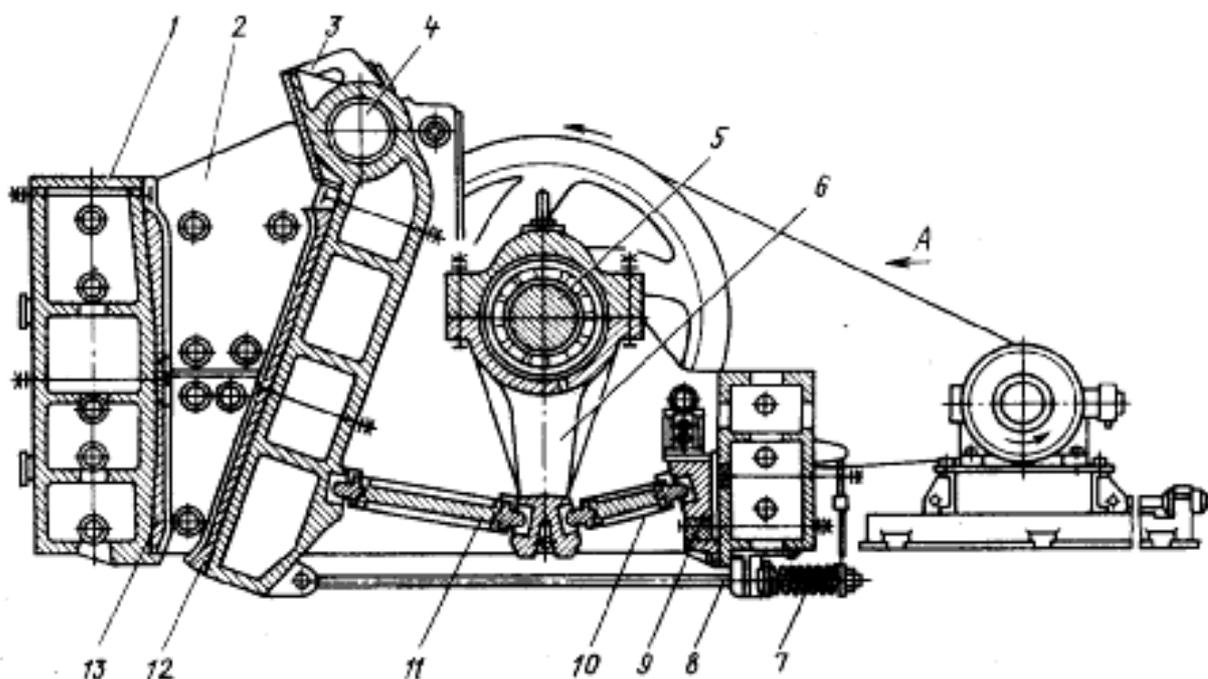
В процессе эксплуатации возникает необходимость регулировать ширину выходной щели камеры дробления. В крупных дробилках для этого устанавливают разные по толщине прокладки между упором и задней стенкой станины. (Гарантированное замыкание звеньев меха)

В конструкциях современных дробилок предусматривается установка самовосстанавливающихся после срабатывания устройств, предохраняющих элементы машины от поломок при попадании в них «недробимых» предметов. На практике применяют следующие варианты предохранительных устройств: подпружиненный рычаг, шарнирно соединенный с подвижной щекой;

пружина в сочетании с распорной плитой; пружина в сочетании с рычагом и распорной плитой и т.д.

На рис. показана схема предохранительного устройства, совмещенного с распорной плитой. Жесткость пружины должна обеспечивать работу дробилки при нормальных нагрузках. При попадании в машину недробимых предметов пружины сжимаются на величину, необходимую для проворачивания эксцентрикового вала при остановившейся подвижной щеке.





Щековая дробилка с простым движением щеки

На рис. показана типовая конструкция дробилки для крупного дробления с простым движением подвижной щеки. Подвижная щека 3, ось 4 которой установлена в подшипниках скольжения, закрепленных на боковых стенках станины 1, получает качательные движения через распорные плиты 10 и 11 от шатуна 6, подвешенного на эксцентриковой части вала 5, приводимого во вращение от электродвигателя через клиноременную передачу. Рабочие поверхности щек футеруют сменными дробящими плитами 12 и 13, изготавливаемыми из износостойкой стали. Боковые стенки камеры дробления также облицованы сменными плитами 2. Рабочую поверхность дробящей плиты, как правило, изготавливают рифленой и реже (для первичного дробления) гладкой. От продольного профиля плит зависят условия захвата кусков и гранулометрический состав материала.

В процессе эксплуатации возникает необходимость регулировать ширину выходной щели камеры дробления. В крупных дробилках для этого устанавливают разные по толщине прокладки между упором 9 и задней стенкой станины. Гарантированное замыкание звеньев механизма привода подвижной щеки осуществляется пружиной 7 и тягой 8.

Конусные дробилки

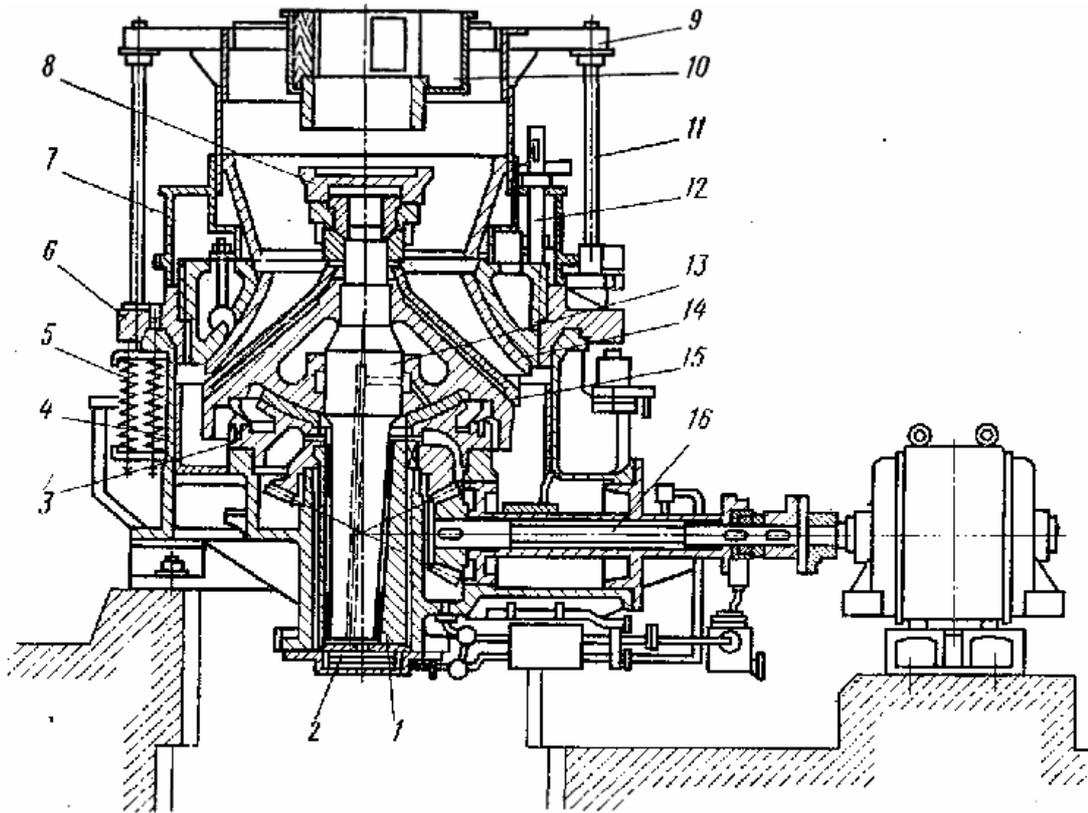
Конусные дробилки используют во всех стадиях дробления при переработке самых разнообразных материалов как по крупности дробимого материала, так и по разнообразию физико-механических свойств. В этих машинах материал разрушается в камере, образованной наружным неподвижным и внутренним подвижным усеченными конусами. По технологическому назначению их делят на дробилки: крупного дробления (ККД), обеспечивающие степень измельчения 8...5; среднего (КСД) и мелкого (КМД) дробления (степень измельчения i до 20...50). В химической промышленности, в основном, используют дробилки КСД и КМД.

Главным параметром дробилок ККД является ширина приемного отверстия – расстояние между образующими боковых поверхностей конусов в зоне загрузки. Отечественной промышленностью выпускаются дробилки типа ККД с шириной приемного отверстия 500, 900, 1200 и 1500 мм. Основным параметром дробилок типов КСД и КМД является диаметр нижнего основания подвижного конуса, который может быть равен 600, 900, 1200, 1750 и 2200 мм.

По конструктивному признаку – способу опирания вала дробящего конуса – различают дробилки с подвешенным валом, опорным пестом и с консольным валом. Последнюю конструкцию используют в машинах КСД и КМД.

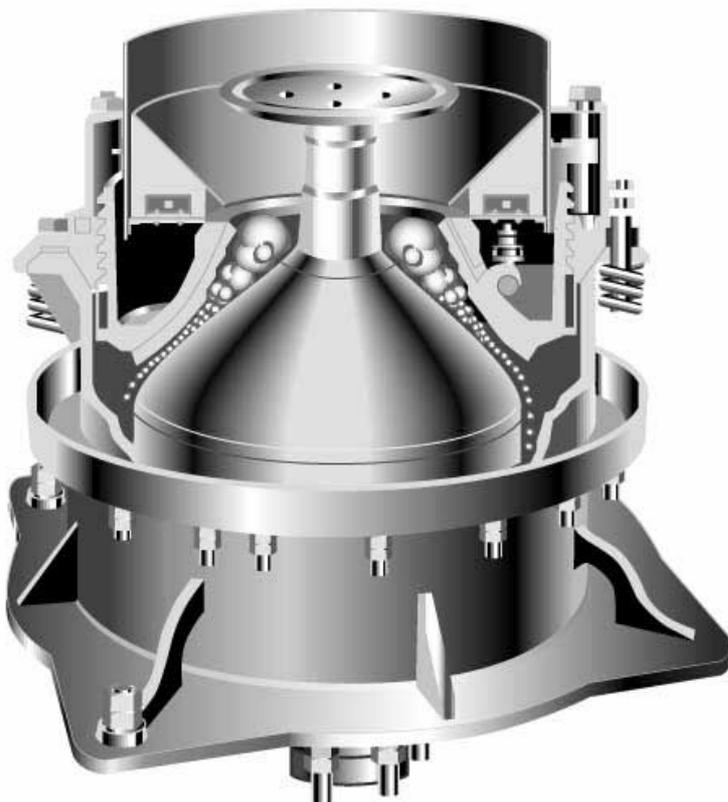
Производительность конусных дробилок (при сопоставимых параметрах) выше, чем у щековых. Это объясняется тем, что в щековых дробилках площадь выходного отверстия при перемещении щеки изменяется, а в конусных она постоянная и изменяется лишь положение подвижного конуса в камере дробления. Перекачивание дробящего конуса также способствует лучшему заполнению камеры дробления и захвату кусков.

Рассмотрим конструкции дробилок на примере конусной дробилки мелкого дробления КМД (рис.). Дробилка состоит из станины 4 с опорным кольцом 6 и предохранительными пружинами 5, эксцентрика 1, установленного в центральном стакане станины на четырехдисковом подпятнике 2. Через



конические зубчатые колеса эксцентрик связан с приводным валом 16, расположенным в горизонтальном патрубке станины 4. С коническим отверстием эксцентрика 1 сопряжен конический хвостовик вала 13 дробящего конуса, опирающегося на сферический подпятник опорной чаши 3. Рабочая камера дробилки образуется

наружной поверхностью дробящего конуса, футерованного броней 15 из высокомарганцовистой стали. И внутренней поверхностью неподвижной брони 14 регулирующего кольца, сопрягающегося упорной резьбой с опорным кольцом 6. Для обеспечения правильной работы резьбы под нагрузкой осевой люфт в резьбе выбирается при подтягивании регулирующего кольца колонками 12 с клиньями. Клинья опираются на кожух 7, установленный на опорном кольце 6. В верхней части дробилки имеется герметичное загрузочное устройство 9, установленное на четырех стойках 11 и станине 4. Исходный материал поступает в приемную коробку 10 загрузочного устройства и через патрубков сыпается на распределительную плиту 8 дробящего конуса. При вращении эксцентрика дробящему конусу сообщается гирационное движение. Благодаря качанию распределительной плиты, обеспечивается равномерная по окружности загрузка рабочего пространства. В результате при сближении конусов материал дробится, а при их расхождении выгружается.



Характерной особенностью дробилок КСД и КМД является наличие в камере дробления параллельной зоны, т.е. участка, на котором зазор между образующими

конусов постоянен. Тем самым обеспечивается получение однородного продукта, близкого по размерам к зазору.

На рис показана 3D стандартной конусной дробилки. Материал подается сверху и дробится до нужного размера, который регулируется посредством изменения пропускного зазора в корпусе.

Из конусных дробилок крупного дробления (рис. 2.10, б) за одну обкатку подвижного конуса выпадает кольцо материала объемом

$$V_0 = \pi D_n (2e + S_n) h / 2, \text{ м}^3,$$

где D_n – диаметр основания подвижного конуса, м; $S_n = 2r_n$ – перемещение конуса на уровне выходной щели, м; r_n – размах колебаний оси конуса на том же уровне, м.

Из треугольника ACE (рис. 2.10, б) высота кольца

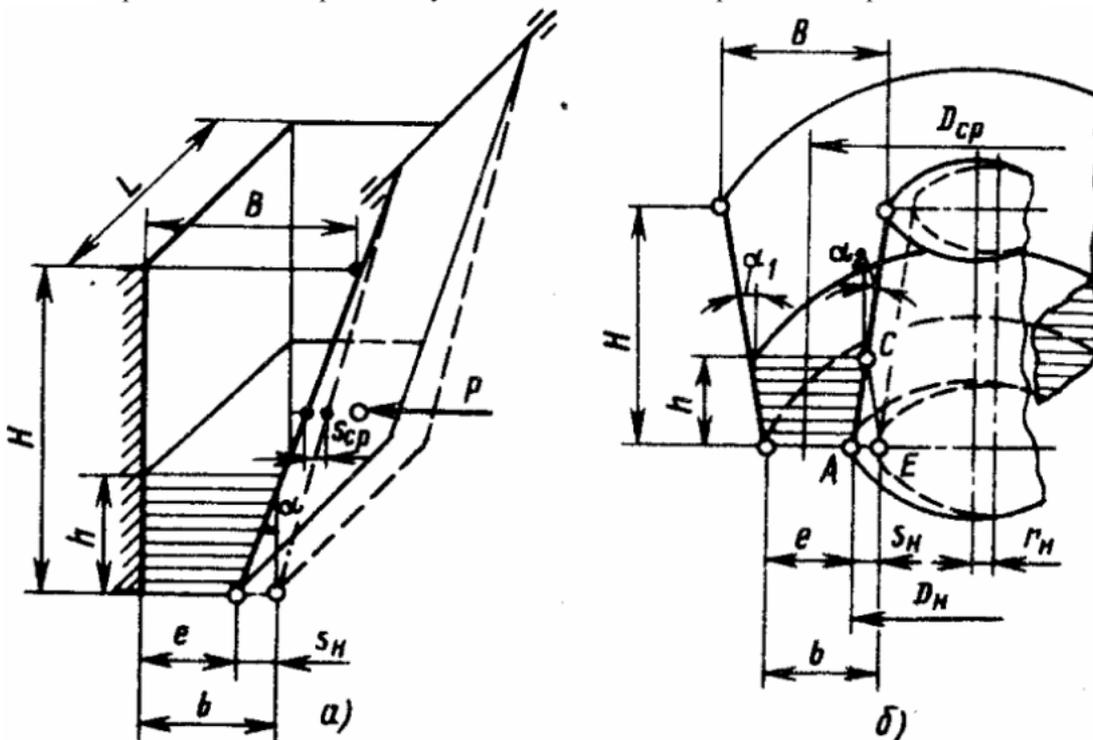
$$h = \frac{2r_n}{\text{tg } \alpha_1 + \text{tg } \alpha_2},$$

где α_1 и α_2 – углы наклона образующей к вертикали, соответственно, неподвижного и подвижного конусов, град.

Техническая производительность дробилок крупного дробления

$$\Pi_T = \frac{k_p 2\pi D_n n (e + r_n) r_n}{\text{tg } \alpha_1 + \text{tg } \alpha_2}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.7)$$

Коэффициент разрыхления для конусных дробилок больше, чем для щековых; его принимают равным $k_p = 0,7 \dots 0,8$. Это связано с тем, что перекачивающее движение дробящего конуса способствует лучшему заполнению материала камеры дробления и площадь выходного отверстия всегда остается постоянной, а изменяется лишь положение подвижного конуса в камере дробления. Геометрические и кинематические параметры конусных дробилок для среднего и мелкого дробления выбирают из условия обеспечения равенства времени обо-



Валковые дробилки

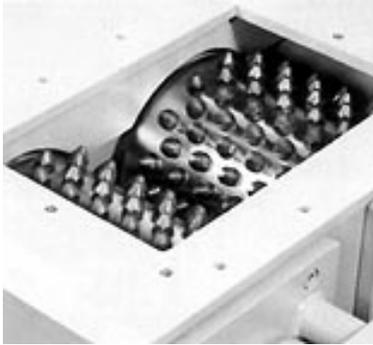
Применяют для среднего и мелкого дробления материалов высокой и средней прочности (солей, известняка, мела, шамота, угля и др.), а также для измельчения пластичных (глинистые породы) и хрупких материалов (отходы стекла, керамики) применяются валковые дробилки. В этих машинах процесс измельчения осуществляется непрерывно при затягивании кусков материала в

сужающееся пространство между параллельно расположенными и вращающимися навстречу друг другу валками.

Классификация:

1. Валковые дробилки бывают одно-, двух-, трех- и четырехвалковые.
2. В зависимости от вида поверхности валков различают дробилки с гладкими ДГ, рифлеными ДР, зубчатыми ДДЗ и дырчатыми (грануляторы) валками.

Выпускают двухвалковые дробилки ДГ с гладкими валками для среднего и мелкого, сухого и мокрого дробления материалов с пределом прочности при сжатии до 350 МПа; двухвалковые дробилки ДР с рифлеными валками для дробления материалов с пределом прочности при сжатии до 250 МПа; двухвалковые дробилки ДГР с гладкими и рифлеными валками; четырехвалковые дробилки Д4Г с гладкими валками для мелкого дробления кокса.



Дробилки с гладкими и рифлеными валками обычно применяют для дробления материалов средней прочности; дробилки с зубчатыми валками – материалов малой прочности. Размер кусков продукта зависит как от размера выходной щели между валками, так и от

типа поверхности рабочих органов.

Основными недостатками валковых дробилок являются:

- 1) интенсивное и неравномерное изнашивание рабочих поверхностей валков при измельчении прочных и абразивных материалов;
- 2) выпуск плоских кусков (лещадок) из мельченного материала при гладких валках;
- 3) сравнительно невысокая удельная производительность.

Достоинства:

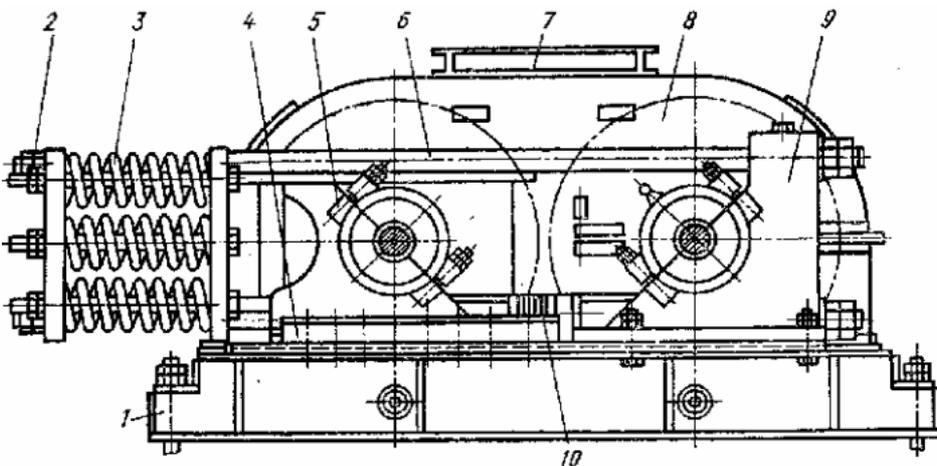
- 1) простота и компактность;
- 2) надежность в работе.
- 3) возможность дробления вязких материалов.

Валковые дробилки характеризуются диаметром D и длиной L валков, при этом $L/D = 0,4...1,0$.

Современные конструкции валков снабжены бондажем, состоящим из отдельных секторов для удобства демонтажа, изготавливаемым из марганцовистых сталей.

В ряде современных конструкций приводной механизм валковой дробилки состоит из двух ременных передач – на шкив каждого валка от отдельного двигателя для предотвращения возможности перекоса зубчатой передачи при неравномерной загрузке и пропуске недробимых тел.

Наиболее распространена двухвалковая дробилка. Машина с гладкими или рифлеными валками (рис.) состоит из станины 1 рамной конструкции. Валок 8 установлен на подшипниках,



размещенных в разъемных корпусах 9. Корпуса 5 подшипников другого валка установлены в направляющих 4 и могут перемещаться по ним вдоль станины. Регулирование ширины выпускной щели (зазора между валками) осуществляется с помощью набора прокладок 10, которые устанавливаются между корпусами неподвижных и

подвижных подшипников. Подвижный валок прижимается к неподвижному системой верхних 6 и нижних тяг с пакетом пружин 3. Предварительное натяжение пружин, создаваемое гайками 2, обеспечивает суммарное усилие на валок, обеспечивающее дробление материала. При попадании в машину недробимых предметов пружины сжимаются, валки расходятся и пропускают их. Для предотвращения пыления дробящие валки закрыты кожухом с приемной воронкой 7.

Расчет валковой дробилки на заданную производительность при известных значениях размеров сырья и готового продукта включает: определение угла захвата $\alpha \leq 2\varphi$, диаметра D и длины L валков, частоты их вращения n , потребляемой мощности N и распорного усилия P .

1. Связь диаметра валка дробилки D с размером начального куска находят из треугольника ABC (рис.): $(D/2 + d_n/2) \cdot \cos(\alpha/2) = D/2 + d_r/2$ ($f_3 = \cos(\alpha/2)$ – коэффициент захвата сырья).

Дробилки ударного действия

В измельчителях ударного действия измельчение материала осуществляется под действием ударных нагрузок. Эти нагрузки могут возникать при взаимном столкновении частиц измельчаемого материала, столкновении частиц материала с неподвижной поверхностью, столкновении материала и движущихся рабочих органов машин.

Дробление материала происходит под воздействием механического удара. При этом кинетическая энергия движущихся тел частично или полностью переходит в деформации разрушения.

К измельчителям ударного действия относятся: роторные и молотковые дробилки, а также пальцевые измельчители.

Данные дробилки применяют для измельчения малоабразивных материалов средней прочности и мягких материалов (известняков, мела, гипса, калийных руд и др.). (Белкалий, Гомель химзавод (фосфорные удобрения)). Роторно-ножевые дробилки применяют для измельчения полимерных материалов (Белшина, БЗПМ, Белпласт). Дробилки ударного действия позволяют получить высокую степень измельчения $i = 15 \div 20$, в отдельных случаях до $i = 40 \div 50$, что позволяет уменьшить число стадий дробления.

Применяются для крупного, среднего и мелкого дробления.

Роторные дробилки могут применяться для дробления крупных кусков, так как имеют массивный ротор с билами (роторно-бильные) и обладают большим запасом энергии рабочих органов.

В молотковых дробилках процесс дробления определяет лишь кинетическая энергия самого молотка.

Основной недостаток роторных и молотковых дробилок – малый ресурс бил. Поэтому била и молотки, работающие в тяжелых условиях в абразивной среде, изготавливают из износостойкой стали (110Г13Л), отбеленного чугуна или из обычной углеродистой стали с наплавкой на рабочие поверхности износостойких сплавов.

В пальцевых измельчителях рабочим органом являются два диска с установленными по их периферии пальцами. Различают пальцевые измельчители с одним вращающимся диском (дис-мембраторы) и с двумя вращающимися навстречу друг другу дисками (дезинтеграторы).

Типоразмеры роторных и молотковых дробилок определяются диаметром и длиной ротора, а пальцевых измельчителей – наружным диаметром диска.

Молотковые дробилки

Молотковые дробилки – это дробилки ударного действия с шарнирно закрепленными на роторе ударными элементами – молотками. От щековых и конусных дробилок они отличаются высокой степенью дробления, малыми размерами, небольшой массой. Другими достоинствами молотковых дробилок являются простота конструкции, удобство обслуживания и ремонта, малая чувствительность к попаданию недробимых предметов в камеру дробления.

Классификация:

1. По конструктивным признакам:

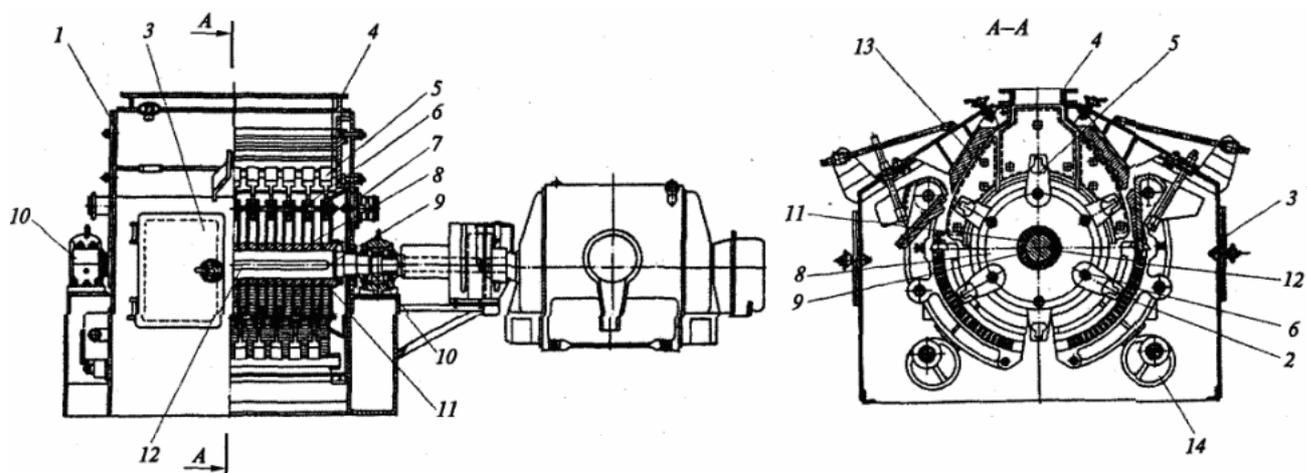
а) по числу роторов – однороторные а, г (наиболее распространены) и двухроторные б, в;

б) по положению вала ротора – с горизонтальным и вертикальным валом;

в) по направлению вращения ротора – реверсивные г и нереверсивные (односторонние);

г) по исполнению разгрузочного узла – с колосниковой решеткой, полностью перекрывающей разгрузочное отверстие, частично перекрывающей разгрузочное отверстие, и без колосниковой решетки.

Рассмотрим конструкцию (рис.) молотковой реверсивной дробилки ДМ 1500×1500 с диаметром ротора и длиной размольной части ротора по молоткам 1500 мм, применяемая для дробления калийных руд, угля различных марок, известняка и др. Размер загружаемых кусков дробимого материала до 120 мм, а крупность кусков на выходе дробилки не превышает 3 мм.



Основными узлами дробилок являются: корпус в сборе, ротор в сборе, решетка колосниковая, механизм подъема колосниковой решетки, электропривод. Ротор дробилки состоит из вала 9, на который со шпонкой 12 насажены диски 8 и фиксирующие дистанционные кольца 11. По окружности дисков 8 просверлены отверстия, через которые пропущены стяжки (шпильки) 6. Между дисками на стяжках 6 шарнирно в шахматном порядке подвешены молотки 5. Диски и молотки удерживаются на валу в собранном состоянии с помощью концевых шайб 7, закрепленных на стяжках 6. Ротор вращается в подшипниках 10, закрепленных в корпусе 1 дробилки.

Корпус дробилки представляет собой сварную конструкцию коробчатой формы, футерованную внутри броневыми плитами 13 из износостойкого материала. Эти плиты воспринимают на себя удары отлетающих от молотков частиц из измельчаемого материала. В верхней части корпуса имеется съемная загрузочная воронка 4, в нижней части – колосниковая решетка 2, которая состоит из двух одинаковых секций и охватывает полуцилиндр ротора. Зазор между колосниковой решеткой и вращающимися молотками 5 регулируется при помощи механизма подъема колосниковой решетки, который состоит из вала с насаженными на нем эксцентриками 14 и рычажной системы. В боковых стенках корпуса предусмотрены люки 3 для осмотра и ремонта колосниковой решетки и замены молотков ротора. Привод дробилки осуществляется от электродвигателя, соединенного с валом редуктора посредством муфты.

Поступающий через загрузочную воронку материал попадает под удар быстровращающихся молотков (частота вращения ротора 1000 об/мин), разрушается от столкновения с ними и отбрасывается к броневой плите. Ударившись о плиту, частицы отлетают от нее и опять попадают под молотки. Такое движение и разрушение материала происходят до тех пор, пока частицы не попадут на колосниковую решетку и не выйдут из зоны измельчения через ее отверстия. Куски материала, не успевшие разрушиться до нужного размера за первый проход через зону измельчения, разрушаются движущимися молотками на колосниковой решетке, а часть их поднимается и возвращается снова в зону интенсивного измельчения. Размер частиц измельченного материала определяется размером отверстий в сменной колосниковой решетке.

Роторные дробилки

Дробилка, дробление в которой осуществляется ударами бил, жестко закрепленных на вращающемся вокруг горизонтальной оси роторе.

Типоразмер роторных дробилок характеризуется параметром $D \times L$, где D — диаметр ротора, мм; L — длина ротора, мм.

Классификация:

По технологическому назначению:

дробилки крупного (ДРК); L/D для этих дробилок составляет 0,8 среднего (ДРС) и

мелкого дробления (ДРМ); $L/D = 1$.

По конструктивным признакам:

по числу роторов: однороторные (распространены наиболее широко), двух- и трехроторные.

В свою очередь роторы по числу бил бывают двух-, трех-, четырех- и шестибильные;

по способу разгрузки готового продукта: со свободной разгрузкой (см. рис. 1.9), с разгрузкой через контрольную колосниковую решетку, которая охватывает всю нижнюю полуокружность ротора;

по характеру исполнения отражательных устройств: с отражательными плитами; с отражательными колосниковыми решетками (которые служат одновременно ситом и определяют крупность готового продукта);

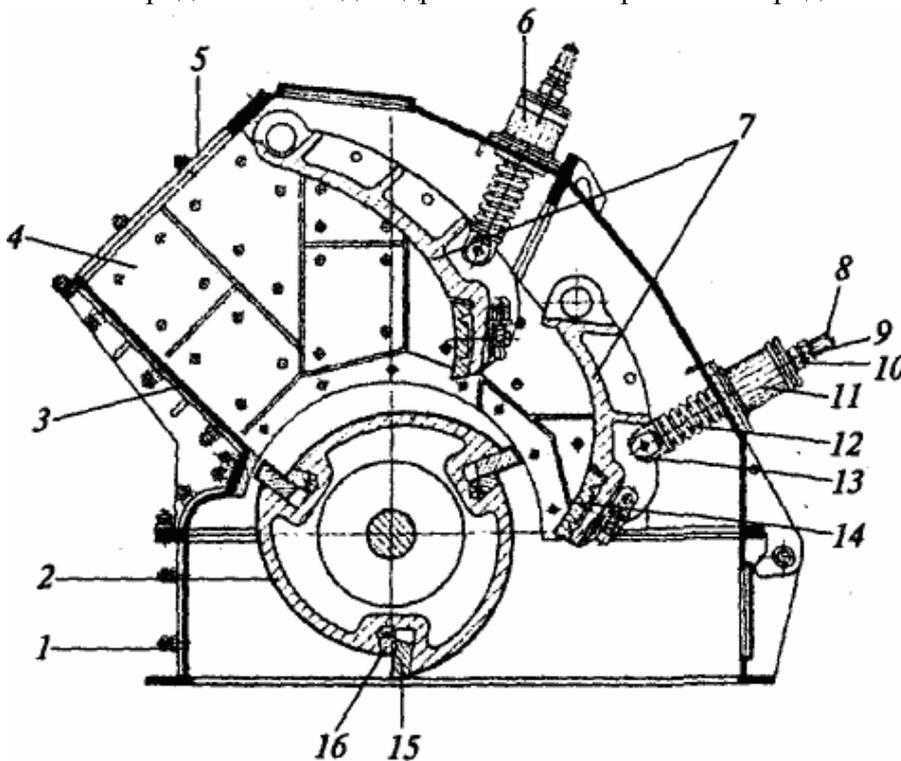
по числу камер дробления: однокамерные, многокамерные (на рис. 1.9 двухкамерная дробилка). Чаще всего число камер соответствует количеству отражательных плит;

по способу подвески отражательных устройств: с жесткой подвеской; с шарнирной подвеской;

по направлению вращения ротора: реверсивные и нереверсивные;

по характеру отражательной поверхности: с гладкой поверхностью; с рифленой или зубчатой поверхностью.

На рис. представлена нереверсивная однороторная трехбильная дробилка со свободной разгрузкой и с двумя отражательными плитами, имеющими шарнирную подвеску (т.е. двухкамерная). Она предназначена для дробления материалов с пределом прочности при сжатии $150 \div 200$ МПа.



Основными ее узлами являются: ротор, корпус, отражательные плиты, возвратно-регулирующее устройство отражательных плит.

Дробилка состоит из станины 1, корпуса 3, футерованного изнутри износостойкими плитами 4, ротора 2 с билами 15, отражательных плит 7 со сменными пластинами 14 и пружинных возвратно-регулирующих устройств 6. Загрузка материала осуществляется через люк 5.

Била 15 крепятся в продольных пазах ротора дробилки с помощью клиньев 16, причем это крепление затягивается под действием центробежных сил во время работы. Пружинное регулировочное устройство 6 служит для установки выходного зазора между нижними кромками сменных пластин 14 и билами 15, а также для предохранения

элементов дробилки от поломок при попадании в нее недробимых предметов. Это устройство включает в себя тягу 13, гайку 10 с контргайкой 9, навинчиваемых на конец тяги, пружину 12 и регулировочный стакан 11, который крепится болтами к стенке корпуса дробилки. Таким образом, регулирование выходной щели обеспечивается сжатием пружины 12 при навинчивании гайки 10 на тягу 8. Пределы регулирования выходной щели для первой камеры составляют $0,02 \div 0,2$ мм, для второй – $0,02 \div 0,125$ мм.

Отражательные плиты 7 на шарнирной подвеске устанавливаются под углом к горизонтальной оси. Их профиль выполнен по логарифмической спирали. В результате этого первая отражательная плита обеспечивает возвращение кусков основного потока в приемный загрузочный лоток для повторных ударов, чем достигается высокая степень дробления (при увеличении ширины выходной щели степень дробления снижается), а вторая отражательная плита направляет отраженные куски на ротор, обеспечивая максимальное их возвращение в рабочую зону, поскольку углы падения кусков на нее меньше, чем у первой.

Ротор дробилки приводится во вращение от электродвигателя через клиноременную передачу. Частота вращения ротора может изменяться сменой ведомых шкивов, входящих в комплект поставки.

Наиболее часто используемыми для вторичной переработки пластмасс являются роторно-ножевые дробилки, которые маркировались как «измельчитель пластмасс роторный» ИПР. Дробление в таком агрегате осуществляется ударами ножей, жестко закрепленных на вращающемся вокруг горизонтальной оси роторе.

Дробилки роторно-ножевые предназначены для переработки отходов термопластов (полиэтилена высокого и низкого давления, ПВХ, полистирола и его сополимеров, полипропилена,

ПЭТ, полиамидов и других наполненных и ненаполненных термопластов), а также резины и неабразивных реактопластов. На роторно-ножевых дробилках сложно перерабатываются полимеры с невысокими механическими характеристиками – твердостью и жесткостью, в том числе некоторые материалы из описанных выше (особенно тонкостенные изделия из ПЭВД). Пленки такими типами дробилок не перерабатываются.

Теоретическая производительность

Производительность роторных дробилок определяют, допуская, что била ротора подобно фрезе срезают стружку материала, который опускается на ротор под действием силы тяжести. В соответствии с этим теоретическая производительность дробилки равна:

$$P = V L_p h n z, \text{ м}^3 / \text{с},$$

где V – длина хорды дуги ротора, соприкасающейся с материалом, м; L_p – длина ротора, м; h – толщина стружки, равная пути свободно падающих тел за время поворота ротора от одного била до следующего, м; n – частота вращения ротора, об/с; z – число рядов бил ротора.

ПОМОЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

От дробилок мельницы отличаются более тонким помолом материала (до частиц размерами мельче 5 мм). В зависимости от формы и вида рабочего органа, а также скорости его движения мельницы можно условно подразделить на пять групп (табл.).

Группа мельниц	Форма и вид рабочего органа	Скорость движения рабочего органа
I	Барабанные, в том числе: шаровые, стержневые, галечные, самоизмельчения	Тихоходные
II	Роликовые, валковые, кольцевые, фрикционно-шаровые, бегуны	Среднеходные
III	Молотковые (шахтные). Пальцевые (дизинтеграторы, дисмембраторы)	Быстроходные
IV	Вибрационные с качающимся корпусом	Быстроходные
V	Струйные, аэродинамические, без дробящих тел	Быстроходные

Барабанные мельницы

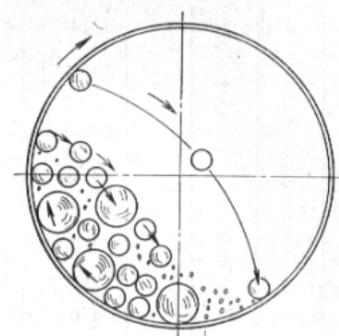
Для грубого и тонкого измельчения материалов преимущественно применяются барабанные мельницы.

Рабочими элементами этих мельниц являются защищенный бронированными плитами вращающийся барабан и загруженные в него дробящие тела – шары, цельпесбы, стержни, галька и т.д.

Материал измельчается в основном за счет энергии удара падающих шаров, а также раздавливанием и истиранием между перекаатывающими шарами и внутренней поверхностью мельницы при ее вращении.

Барабанные мельницы могут работать в трех режимах.

Каскадный режим наблюдается при небольшой частоте вращения. Он характеризуется тем, что шары поднимаются на некоторый угол и скатываются под действием силы тяжести вниз без отрыва от стенки. В этом режиме из-



мельчение наблюдается только за счет истирания. Поэтому в каскадном режиме работают мельницы вторичного помола, когда требуется преимущественно истирающее воздействие измельчающих тел.

Более интенсивный помол происходит в **водопадном** режиме. При увеличении скорости вращения измельчающие тела поднимаются по круговой траектории на значительно большую высоту, а затем отрываются от стенок барабана и падают вниз по параболической траектории. В этом режиме измельчение происходит в основном за счет удара, поэтому водопадный режим применяется тогда, когда требуется интенсивное ударное воздействие измельчающих тел на относительно крупные частицы измельчаемого материала. Оптимальный угол отрыва измельчающего тела определяется из условия максимальной высоты падения. Его величина составляет $\alpha = 54^\circ 40'$.

При дальнейшем увеличении частоты вращения может наступить критический – **центрифугальный** режим. Центробежная сила возрастает настолько, что измельчающие тела прижимаются к стенкам и совсем не будут от них отрываться, вращаясь вместе с барабаном. Помол в этом режиме практически останавливается. Критическая скорость начала этого режима определяется из условия удерживания тела в верхнем пункте барабана. В верхнем пункте на тело действуют сила тяжести G и инерционная центробежная сила $P_{ц}$, направленные в противоположные стороны. Тело будет удерживаться в верхней точке при условии $P_{ц} \geq G$ или $m \cdot \omega^2 \cdot R \geq m \cdot g$, отсюда критическая угловая скорость

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R}},$$

При ее превышении наступает режим центрифугирования.

Оптимальная угловая скорость ($\alpha = 54^\circ 40'$):

$$\omega_{опт} = \sqrt{\frac{g \cdot \cos \alpha}{R}} = \frac{2,38}{\sqrt{R}}$$

Классификация:

1. По принципу действия: периодического и непрерывного.
2. По способу помола: сухого и мокрого.
3. По конструкции и форме барабана: цилиндрические однокамерные, многокамерные, конические.
4. По виду измельчающих тел: шаровые, стержневые, галечные, рудногалечные и мельницы самоизмельчения (без дробящих тел).
5. По способу разгрузки: через люк, с центральной разгрузкой через полые цапфы, с периферийной разгрузкой.
6. По конструкции привода: с периферийным и центральным.
7. По схеме работы: с открытым и закрытым циклом.

Мелющие тела – чугунные и стальные шары диаметром 30÷150 мм, чугунные или стальные цилиндры (цильпессы) размерами (диаметр и длина) от 16 и 30 до 25 и 40 мм, стальные круглые стержни диаметром до 130 мм и длиной, равной длине барабана, кремнёвая или рудная галька размером до 200 мм, крупные куски измельчаемой руды.



Существует группа шаровых мельниц, работающих без измельчающих тел, измельчение материала в которых

происходит при ударе и истирании кусков между собой и об стенки барабана. Чтобы повысить энергию удара в таких мельницах необходимо поднять кусок материала на большую величину, чем в шаровых. Мельницы сухого самоизмельчения называются «Аэрофол», мокрого – «Гидрофол».

Размеры барабанов современных шаровых и стержневых мельниц: диаметр от 0,9 до 5 м, длина от 0,9 до 8 м (в цементном производстве диаметр 4 м и длина до 15 м). Барабаны мельниц самоизмельчения достигают размеров 10,5 и 3,8 м, мощность привода такой мельницы достигает 7000 кВт. Проектируются мельницы диаметром 12,2 м мощностью до 20 000 кВт.

В шаровые и стержневые мельницы подаётся материал крупностью до 30 мм, в мельницы самоизмельчения – до 300 мм. Крупность продукта может быть мельче 0,04 мм. При измельчении износ стальных шаров составляет 1÷3 кг на 1 т руды. Расход энергии на 1 т руды 10÷20 кВт×ч.

Для получения продукта заданной крупности барабанные мельницы обычно сопрягаются с классификаторами (или гидроциклонами, воздушными сепараторами), разделяющими материал, выходящий из мельницы на мелкий (готовый) и крупный, возвращаемый в ту же мельницу на доизмельчение (закрытый или замкнутый цикл). Несмотря на то, что энергозатраты на классификацию могут составлять 10÷20%, общие затраты на помол снижаются на 35÷40% в сравнении с открытым циклом. Кроме того повышается производительность на 15÷20%.

При открытом цикле материал измельчается за один проход. При этом в зоне измельчения находятся частицы, которые уже достигли требуемого размера. Они мешают измельчению крупных частиц и снижают общую эффективность помола (явление переизмельчения).

Барабанные шаровые мельницы.

Для мокрого измельчения в зависимости от способа загрузки продукта выпускаются мельницы двух типов: МШР – мельницы шаровые с принудительной разгрузкой через решетку и МШЦ – мельницы шаровые с центральной (сливной) разгрузкой.

Типоразмер шаровых мельниц обозначается цифрами, которые характеризуют диаметр и длину барабана в миллиметрах. Например, МШР-2100х1500 – мельница шаровая с разгрузкой через решетку (диаметр барабана 2100 мм, длина барабана 1500 мм); МШЦ – 2100х3000 – мельница шаровая с центральной разгрузкой (диаметр барабана 2100 мм, длина барабана 3000 мм). Шаровые мельницы с разгрузкой через решетку предназначены для получения сравнительно крупного продукта измельчения, а мельницы с центральной разгрузкой – более мелкого продукта. Время пребывания частиц материала в рабочей зоне мельниц типа МШР меньше, а производительность выше, чем у мельниц типа МШЦ.

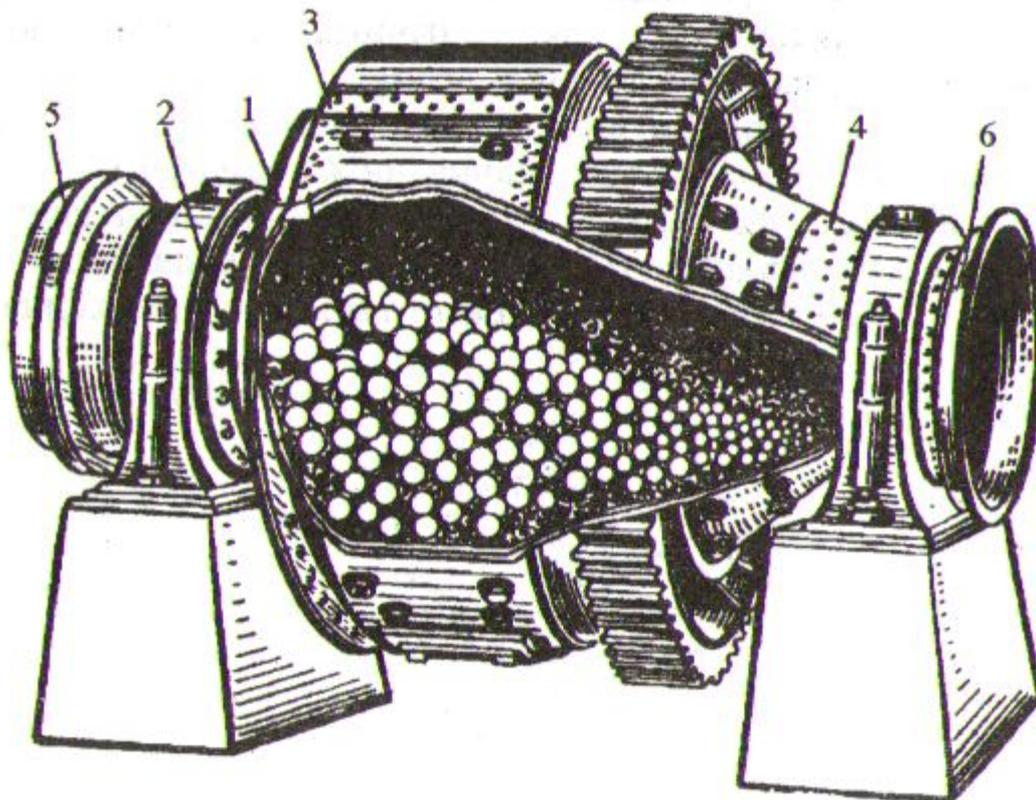
Шары выпускаются диаметрами от 25 до 120 мм и предназначены для грубого помола, а цельцебсы используются только в том производстве, где тонкость помола не может быть достигнута одними шарами (например, при производстве цемента).

Если при падении шаров в барабанных шаровых мельницах происходят точечные удары, то при падении стержней **в стержневых мельницах** удар распределяется по линии. Поэтому крупность частиц продукта в стержневых мельницах выше, чем в шаровых. Однако в стержневых мельницах процесс идет без переизмельчения материала и продукт получается более однородный по крупности и с меньшим содержанием пыли.

По конструкции стержневые мельницы незначительно отличаются от шаровых. В зависимости от способа измельчения и способа разгрузки продукта стержневые мельницы выпускаются двух типов; МСП – мельницы стержневые сухого помола с периферийной разгрузкой; МСЦ – мельницы стержневые мокрого помола с центральной (сливной) разгрузкой. Диаметр и длина барабана ($D \times L$) положены в основу размерного ряда стержневых мельниц.

достоинства барабанных мельниц – простота конструкции и надёжность в работе,

недостатки – значительный расход металла, сложность изготовления, высокая стоимость, большие габариты пылеприготовительной установки, а также высокий удельный расход электроэнергии.



НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА ФРАКЦИИ

При измельчении твердых материалов редко удается сразу получить продукт требуемого состава по крупности. Обычно продукты измельчения состоят из частиц различных размеров и форм, и из них приходится выделять нужные фракции.

Разделение сыпучих материалов на фракции по крупности частиц называют классификацией.

Ее применяют в следующих случаях:

- 1) отделение от материалов, предназначенных для дробления, кусков, которые больше максимально допустимых;
- 2) выделение из измельченного материала частиц, которые больше требуемого размера;
- 3) разделение материалов по размерам на фракции.

В промышленности применяют различные способы разделения сыпучих материалов на фракции. Из них наиболее распространены:

- 1) разделение просеиванием (грохочением) через сетки, решетки, колосяники;
- 2) разделение под действием гравитационно-инерционных сил (осаждение частиц из несущей жидкой или воздушной среды под действием сил тяжести);
- 3) разделение под действием гравитационно-центробежных сил.

По виду энергоносителя разделяют: механическую, пневматическую и гидравлическую классификацию.

Наиболее распространена механическая классификация, которую часто называют грохочением, а машины для осуществления этого процесса – грохотами. Сущность заключается в разделении материалов на классы с помощью перфорированных поверхностей. Материал, который остается над перфорированной поверхностью называется верхним (надрешеточным) классом, а тот который прошел через отверстия – нижним (подрешеточным). Т. е., если материал будет последовательно проходить N перфорированных поверхностей, то получим $N - 1$ классов (фракций).

Последовательность грохочения зависит от взаимного расположения перфорированных поверхностей. Отличают грохочение от мелкого к крупному (а), от крупного к мелкому (б) и комбинированное (в).

Достоинствами первой схемы – удобство смены сит и наблюдения за ходом процесса, недостатками – пониженная эффективность грохочения из-за перекрытия отверстий большими кусками и повышенный износ, а также деформация тонких сит из-за подачи на них всей массы материала. В схеме (б) эти недостатки ликвидируются, но значительно усложняются ремонт и замена сит. Комбинированная схема (в) занимает промежуточное положение между (а) и (б).

В качестве просеивающих поверхностей применяют сетки, решетки и колосники.

Способ разделения сыпучих материалов на фракции *просеиванием* их через сита наиболее простой и соответственно широко используемый. Суть его состоит в том, что материал пропускают через сито с отверстиями определенного размера. Частицы, размер которых меньше размера отверстия в сите, проходят через него, а более крупные задерживаются.

Сита изготовляют из металлических проволочных сеток с квадратными отверстиями и из перфорированных стальных решеток с штампованными щелевидными или круглыми отверстиями. Все сетки стандартизованы, и их подробную характеристику можно найти в ГОСТах.

Колосники изготавливаются литыми или из стальных балок. Чтобы уменьшить или совсем исключить возможность застревания кусков материала между колосниками, последние выполняют трапецевидного или Т-образного сечения и устанавливают широким основанием вверх.

Размер стороны ячеек проволочных сит, выпускаемых отечественной промышленностью, стандартизован в соответствии с нормальным рядом чисел в машиностроении и составляет 0,04-100 мм. В зависимости от размеров ячеек (площадь отверстия, мм²) сетки делят на следующие классы:

Наимельчайшая	До 0,025
Мельчайшая	0,025-0,25
Мелкая	0,25—1
Средняя	1-25
Крупная	25-625
Очень крупная	Свыше 625

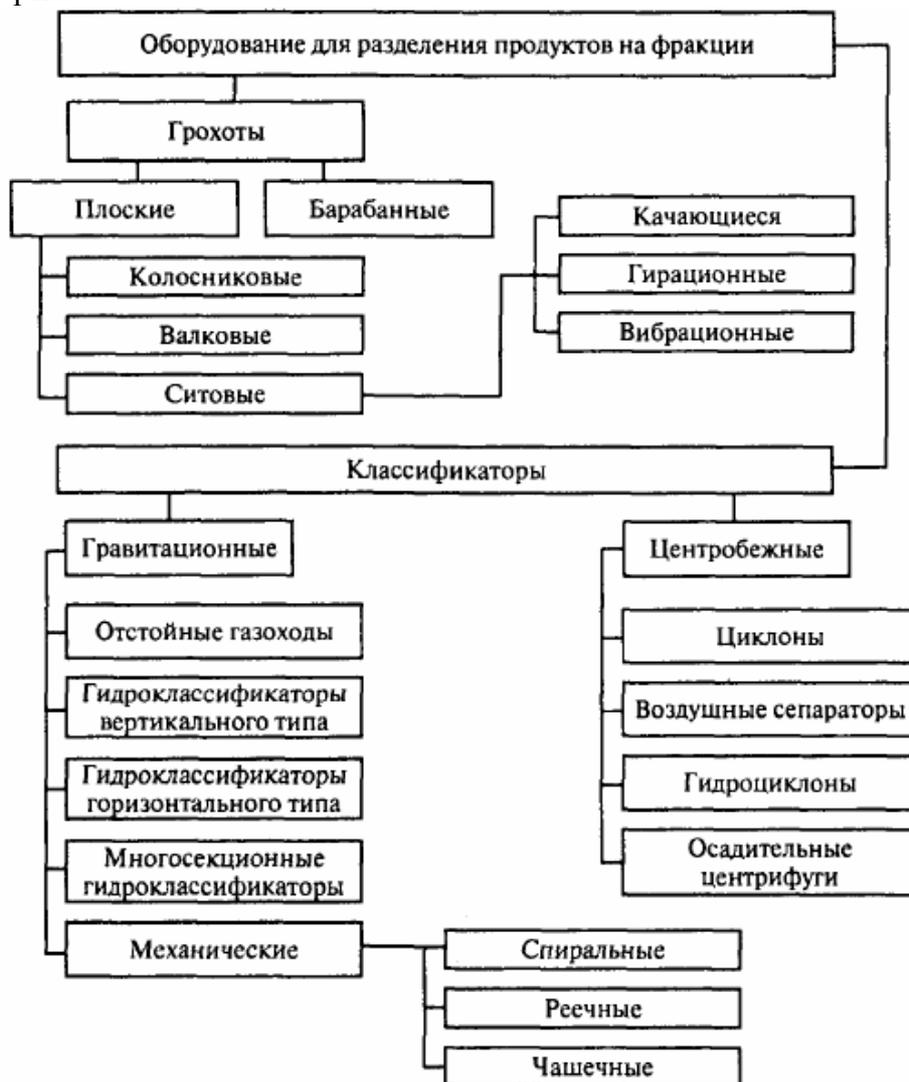
Отношение суммарной площади отверстий сетки ко всей площади сита, называемое площадью в свету, для всех сеток остается постоянным и составляет 0,36 (или 36%). Это означает, что с увеличением числа отверстий на 1 см² сетки уменьшается диаметр проволоки, из которой она изготовлена.

В США распространена дюймовая шкала сит. Употребляемое в технике американское понятие «меш» означает количество отверстий на один линейный дюйм (25,4 мм). Например, сито, имеющее 10 отверстий на 1 дюйм, называют ситом в 10 меш.

Процесс разделения сыпучих материалов на фракции с помощью сит носит название «рассеивание» или «грохочение», а устройства, в которых происходит этот процесс, называют ситами или грохотами. Термины «рассеивание» и «сита» употребляют в случае разделения мелкозернистых сыпучих материалов, а «грохочение» и «грохот» — при разделении крупнозернистых и кусковых материалов.

Для получения особо тонких порошков используется метод раздельного осаждения частиц из несущей среды под действием гравитационно-инерционных сил (сил тяжести) или гравитационно-центробежных сил. В качестве несущей среды при сухой классификации чаще всего применяют воздух, а при мокрой — воду. Оборудование, применяемое для этих целей, называют классификаторами.

Классификация оборудования для получения фракций сыпучего материала по размерам приведена на рис.



Интегральными характеристиками процесса грохочения являются эффективность и производительность. Эффективность в общем виде: $E = (c - c_1)/c$, где c – содержание зерен нижнего класса в начальном материале, %; c_1 – содержание зерен нижнего класса в надрешеточном материале после отсева, %.

Производительность: $Q = u b h$, м³/с, где u – скорость движения материала по просеивающей поверхности; b – ширина просеивающей камеры, м; h – высота пласта материала над просеивающей поверхностью.

На E и Q влияют очень много факторов: процентное содержание в начальном материале зерен нижнего класса, угол наклона прос. поверхности, размер и форма отверстий, скорость движения материала, физико-механические свойства (влажность) и др.

График (где q – относительная производительность, отнесенная к единице площади просеивающей поверхности, м³/м²*ч)

Конструкции грохотов.

Бывают:

1. По форме просеивающей поверхности: плоские, цилиндрические, многогранные.

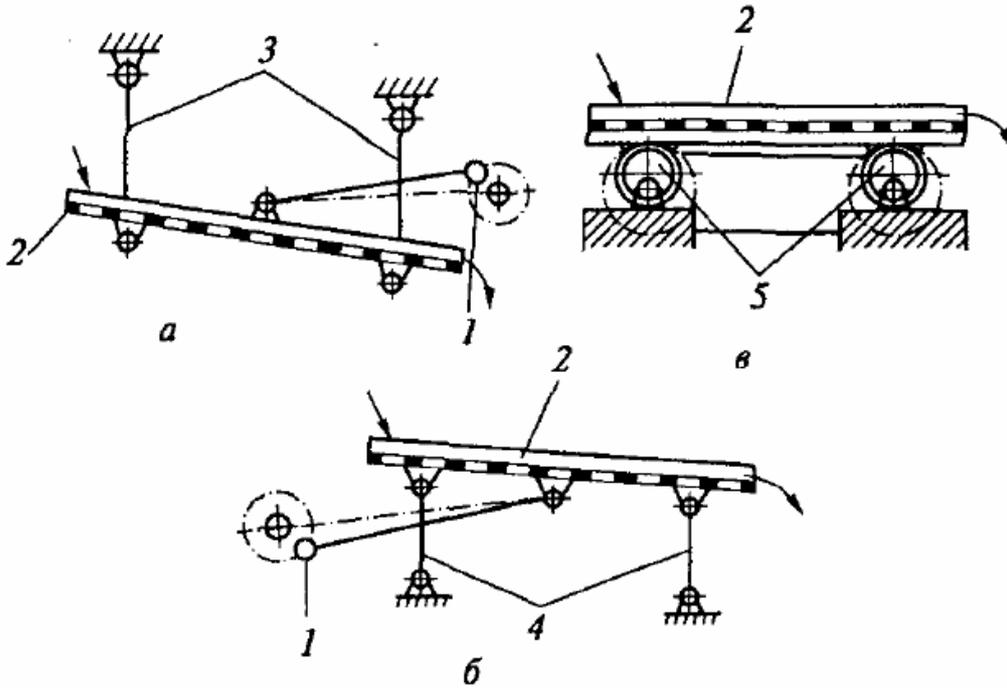
2. По размещению поверхности: горизонтальные, наклонные.

3. По характеру движения: неподвижные, качающиеся, вибрационные и вращающиеся.

Неподвижные колосниковые грохоты используются только для предварительного отделения крупных кусков (перед дробилками). Чаще в промышленности используют плоские качающиеся, вибрационные и вращающиеся барабанные грохоты.

Плоские качающиеся грохоты.

По конструкции бывают: наклонный на шарнирных подвесках (а); наклонный на шарнирных опорах (б); наклонный на кривошипных опорах (в);
г - горизонтальный на пружинных опорах;
комбинированные:
д - наклонный на кривошипной опоре и шарнирной подвеске;
е - наклонный на шарнирной и кривошипной опорах



Просеивающая поверхность таких грохотов с помощью приводного механизма совершает возвратно-поступательное движение (принудительные качания), обусловленное жесткой кинематической связью приводного эксцентрика / с коробом 2, закрепленным либо на шарнирных подвесках 3 (а), либо на шарнирных опорах 4 (б), либо на кривошипных опорах 5 (в), либо на пружинных опорах.

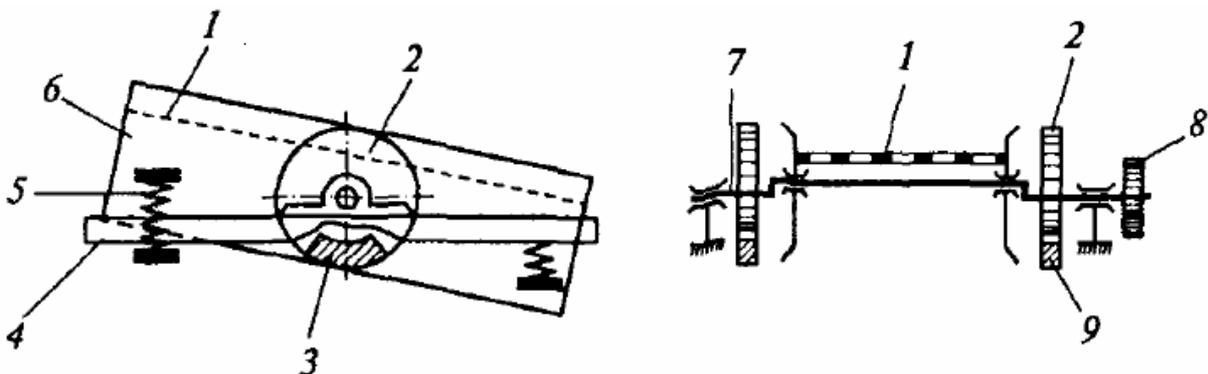
Во всех случаях материал движется по ситам к выходному концу и рассеивается на фракции или промывается в зависимости от технологических требований.

Достоинствами плоских качающихся грохотов являются высокая производительность и эффективность грохочения, компактность и удобство обслуживания.

К недостаткам можно отнести неуравновешенность конструкции и быстрый выход из строя опорных элементов.

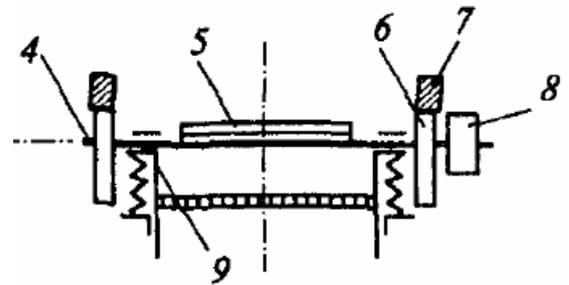
Вибрационные грохоты

Бывают гирационного и инерционного типов; одно-, двух- и многоситовыми.



Основной частью **гирационного грохота** (рис.) является короб 6 с одним или несколькими ситами 1 совершающий в вертикальной плоскости круговые движения с помощью эксцентрикового вала 7, который получает вращение от шкива 8. Сито грохота за оборот вала перемещается параллельно самому себе. Концы корпуса сит соединяются с неподвижной рамой 4 пружинными амортизаторами 5. Центробежные силы инерции, возникающие при движении корпуса, уравновешиваются контргрузами 3 на симметрично расположенных дисках 2.

Инерционный грохот (рис.)

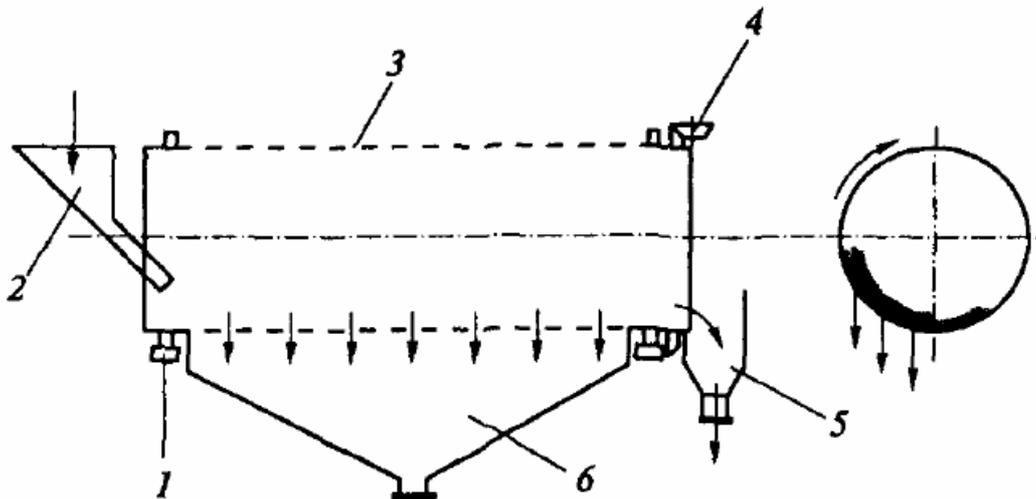


состоит из опорной рамы 1, пружинящих опор 2 или пружинных *подвесок*, корпуса с ситом 3, вала 4 с дебалансом 5, маховика 6 с регулятором дебаланса 7, называемым балансиром, шкива 8 и подшипников 9.

Вибрация корпуса 3 с ситом происходит вследствие неуравновешенности масс вращающихся дебаланса 5 и балансира 7. Амплитуда колебаний грохота зависит от общего дебаланса.

Сортируемый материал непрерывно подбрасывается на наклонно установленном сите, при этом мелкие куски проваливаются через отверстия сит, а крупные — перемещаются к нижнему концу корпуса. Особенность этих грохотов связана с наличием приводного вибрационного механизма, который является сборочной единицей и включает в себя вал с дебалансом, маховик с балансиром, шкив и подшипники.

Барабанные грохоты



Он состоит из дырчатого вращающегося барабана 3, опорного устройства 1 и приводного механизма 4. Исходный сыпучий материал загружается через воронку 2. Ось барабана наклонена к горизонту под углом 3–8° в сторону приемного бункера 5. При вращении барабана с частотой 10–25 об/мин подлежащий фракционированию материал под действием силы трения поднимается по стенке барабана на некоторую высоту и затем сползает вниз. Одновременно частицы материала двигаются вниз к разгрузочному концу барабана. В результате при таком движении и происходит разделение материала на фракции. Нижняя фракция, пройдя через отверстия сита, собирается в бункере 6, а верхняя (крупная) поступает в бункер 5.

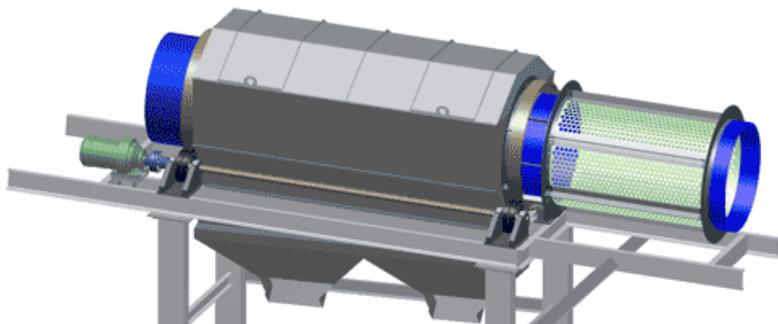
При разделении материала на три фракции и более используют барабанные грохоты с несколькими ситами, собранными концентрично или последовательно друг за другом.

При *концентричном расположении сит* материал сначала поступает на внутреннее сито с самыми большими отверстиями. Здесь задерживается крупная фракция, которая собирается в бункере 1. Нижняя фракция первого сита попадает на второе и делится также на две фракции, верхняя из ко-

торых выводится в бункер 2, а нижняя, пройдя через второе сито, попадает на третье, где снова делится на две фракции, верхняя из которых попадает в бункер 3, а нижняя – в бункер 4.

При *последовательном расположении сит* исходный материал сначала поступает на мелкое сито, где отбирают самую мелкую фракцию. По мере продвижения материала вдоль барабанного грохота размер отверстий в ситах увеличивается и соответственно возрастает крупность отделяемых фракций.

Многоситовые грохоты с концентрическим расположением сит по своему устройству сложнее, чем с последовательным, и более трудоемки в эксплуатации, так как наблюдение, осмотр и смена внутренних сит затруднены. Единственное их преимущество – компактность.



Барабанные грохоты просты по конструкции, у них нет качающихся масс, как у плоских грохотов, поэтому они являются динамически уравновешенными аппаратами. Однако барабанные грохоты громоздки, имеют малую удельную производительность и низкую эффективность грохочения. Эти недостатки обусловлены низким коэффициентом использования поверхности сит. При заполнении барабана на 15–18% объема

поверхность сит используется всего на 20–30%. Поэтому барабанные грохоты применяются значительно реже плоских.

Барабанные грохоты с призматической просеивающей поверхностью называют буратами (сито-бурат).

Воздушная классификация

При всем многообразии способов классификации наиболее прогрессивными являются сухие способы разделения, осуществляемые, чаще всего, в аппаратах с воздушными потоками или, при необходимости, потоками инертных, дымовых или других газов. О перспективности воздушной классификации свидетельствует складывающаяся в последние годы тенденция перехода на сухие способы производства многих отраслей отечественной и зарубежной промышленности. Анализ литературы показал, что для получения сухих порошков заданного гранулометрического состава с размером частиц менее 1 мм воздушная классификация является основным из всех известных способов сортировки. В настоящее время в промышленности эксплуатируются различные конструкции воздушных классификаторов, однако некоторые из них отличаются низкой эффективностью и невысокой, степенью извлечения целевого продукта из полидисперсного порошка. Вследствие этого при измельчении материала в мельницах, работающих по замкнутому циклу, из-за низкой эффективности классификатора готовый продукт снова направляется на помол, что приводит к снижению производительности и высокому энергопотреблению мельничного агрегата. Поэтому актуальным остается обоснованный выбор типа классификатора.

Классификация зернистых материалов по крупности производится в химической промышленности, где широко используются твердые материалы в виде порошков, в горнорудной промышленности при обогащении минерального сырья, в промышленности строительных материалов, где исходное сырье, полуфабрикаты и конечные продукты имеют в большинстве случаев порошкообразное состояние. Широко распространены сыпучие материалы в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, энергетике, технологии органических веществ и т. д.

Современное производство предъявляет высокие требования к качеству порошкообразных материалов, в тоже время несовершенство процессов измельчения не всегда позволяет получить продукт с заданными свойствами. Поэтому в технологических процессах приготовления сыпучих материалов, особенно в системах измельчения, устанавливают специальные устройства – классификаторы. Основное назначение классификатора – разделять проходящий через него материал на два продукта с преимущественным содержанием крупных и мелких частиц. Понятия «крупный» и «мелкий» рассматриваются в процессах классификации относительно размера фракции, распределяющейся поровну между грубым и тонким продуктами.

Процесс классификации может осуществляться двумя принципиально различными способами: грохочением на перфорированной поверхности либо в потоке воздушной или водной разделительной среды.

Классификация воздушных сепарирующих устройств

Наиболее широкое признание получила классификация аппаратов, разработанная Р. Нагелем. Главным отличительным признаком различных классификаторов Р. Нагель принял соотношение массовых сил и сил сопротивления.

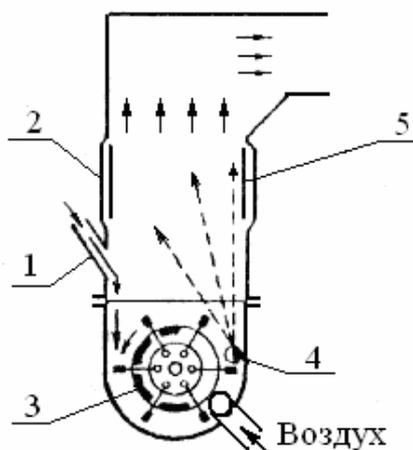
Массовые силы делятся на три группы. К **первой группе** относится сила тяжести, фиксированная по величине и направлению. **Вторую группу** сил составляют прямолинейные инерционные силы. К **третьей группе** сил относятся центробежные силы, которые в зависимости от природы возникновения делятся на две подгруппы: генерируемые механически и генерируемые пневматически. Другие виды массовых сил, несмотря на то, что они также могут оказывать влияние на процесс разделения, в данную классификацию не входят, так как не определяют процесс в целом.

Согласно «силовой» классификации, все типы применяемых в настоящее время воздушных классификаторов можно разделить по принципу действия на две обширные группы: **гравитационные и центробежные**. Центробежные классификаторы, в свою очередь, подразделяются на проходные и циркуляционные. Разделение в гравитационных классификаторах происходит под действием только силы тяжести. В центробежных классификаторах в подавляющем большинстве случаев используется совместное воздействие на материал как гравитационных, так и инерционных сил, причем центробежные силы используются непосредственно для разделения и являются движущей силой процесса классификации, а гравитационные в основном для осаждения и отвода крупной фракции.

Гравитационная классификация и аппараты для ее осуществления

В гравитационных классификаторах основной движущей силой процесса разделения является сила тяжести частицы. В зависимости от взаимной ориентации сил тяжести и сил аэродинамического сопротивления гравитационные классификаторы разделяют на противоточные, поперечно-поточные и с косым потоком.

В простейшем случае равновесный противоточный классификатор представляет собой полую трубу или шахту, в которую в определенном месте вводится подаваемый на разделение материал. Восходящий поток воздуха раздувает этот материал, подхватывает мелкие частицы и уносит их вверх, а крупные частицы, двигаясь навстречу потоку, падают вниз. Долгое время такие классификаторы применялись в пылеприготовительных установках совместно с молотковыми мельницами для размола углей и торфа. Схема мельницы-классификатора представлена на рисунке.



1 – патрубок питания; 2 – шахта; 3 – ротор;
4 – частица; 5 – отбойная плита
Шахтная мельница-классификатор

Однако с ростом промышленного производства возникла необходимость в переработке огромных объемов материалов. Увеличение производительности путем повышения концентрации разделяемого материала в потоке воздуха приводит к неравномерному распределению материала по сечению потока и, как следствие, снижению эффективности разделения. В тоже время увеличение площади сечения трубы (шахты) также приводит к неравномерному распределению материала по сечению аппарата и, кроме этого, вызывает значительное искажение поля скоростей потока, устранить которое можно лишь увеличением относительной длины, что ведет к совершенно не-

приемлемой высоте аппарата. Кроме этих недостатков, в противоточных гравитационных аппаратах очень сложно осуществить процесс классификации при низких границах разделения, порядка 100 мкм, так как здесь даже небольшая неравномерность распределения потоков среды и материала приводит к значительному снижению эффективности процесса.

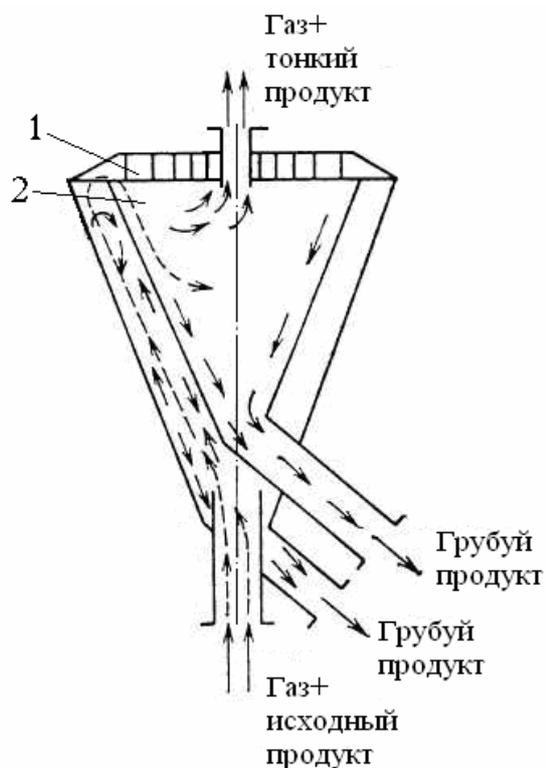
Классификаторы поперечно-поточного типа могут обеспечивать значительные производительности (до 300 т/ч), однако обладают крайне низкой эффективностью разделения (около 30%). Основная причина низкой эффективности такая же, как и для случая противоточного разделения – невозможность создания равномерного поля скоростей газового потока. Для повышения эффективности разделения зачастую в рабочем объеме аппарата устанавливают различные стабилизирующие элементы – полки, жалюзи, конусы. Это лишь усложняет конструкцию аппарата, а прирост эффективности незначителен. Второй причиной низкой эффективности является то, что как крупные, так и мелкие частицы имеют горизонтальные составляющие движения одного направления. Вследствие этого происходит частое столкновение частиц между собой, перераспределение кинетической энергии и изменение их траекторий движения.

Несмотря на низкую эффективность разделения, подобные устройства иногда применяются в промышленности и сельском хозяйстве вследствие простоты конструкции, надежности и неприхотливости в обслуживании.

Недостатки поперечно-поточных разделительных устройств частично устранены в классификаторах поворотного и метательного типа. Разделение здесь происходит в «косом» потоке. Следует отметить, что отношение этих классификаторов строго к гравитационным условно. Массовая сила здесь есть сумма как гравитационных, так и инерционных сил.

Таким образом, гравитационные классификаторы конструктивно просты, надежны в работе, могут обеспечивать (особенно многокаскадные с пересыпными полками) высокое качество разделения. Однако одним из основных недостатков гравитационных классификаторов является невозможность интенсификации разделения с точки зрения увеличения движущей силы процесса,

т.е. силы тяжести. Это, в свою очередь, не позволяет снизить границу разделения ниже 50 – 100 мкм, а также увеличить удельную производительность аппарата. Помимо прочего, гравитационные классификаторы, кроме противоточных, практически невозможно совместить в одном агрегате с измельчителем, что необходимо для эффективной работы среднеходных мельниц.



Центробежные воздушно-проходные классификаторы

Устранить недостатки гравитационных классификаторов можно путем использования в качестве движущей силы процесса разделения центробежной инерционной силы. Сила тяжести пропорциональна ускорению свободного падения g , а центробежная сила инерции пропорциональна нормальному ускорению $a_n = \omega^2 \cdot r$, где ω – угловая скорость, рад/с; r – радиус вращения, м. Следовательно, для частицы одной и той же массы и размера, центробежная сила может быть по величине в

десятки и сотни раз больше, в зависимости от величины угловой скорости и радиуса вращения, чем сила тяжести. Поэтому использование центробежных сил в процессе разделения позволяет существенно повысить скорости движения частиц в зоне классификации и, тем самым, увеличить удельную производительность классификатора, а также значительно снизить, по сравнению с гравитационными способами фракционирования, границу разделения, по некоторым данным до 5 – 10 мкм, за счет действия на разделяемый материал более значительных массовых сил. Кроме этого, гравитационную силу для частицы определенной массы и размера изменить невозможно, а центробежные силы можно регулировать, изменяя угловую скорость потока среды с материалом

или какого-либо механического органа машины, что, естественно, создает дополнительные возможности для более точной настройки классификатора на требуемый режим работы.

Разделение материала на фракции в центробежных воздушно-проходных классификаторах основано на противодействии силы аэродинамического сопротивления, действующей на частицы со стороны воздушного потока, и центробежной силы инерции, генерируемой механически либо пневматически.

Наиболее широкое распространение в промышленности нашли центробежные воздушно-проходные классификаторы. Разработкой и исследованием подобных устройств занимались в Центральном Котлотурбинном Институте (ЦКТИ), Ивановском Энергетическом Институте (ИЭИ), а также некоторые зарубежные фирмы.

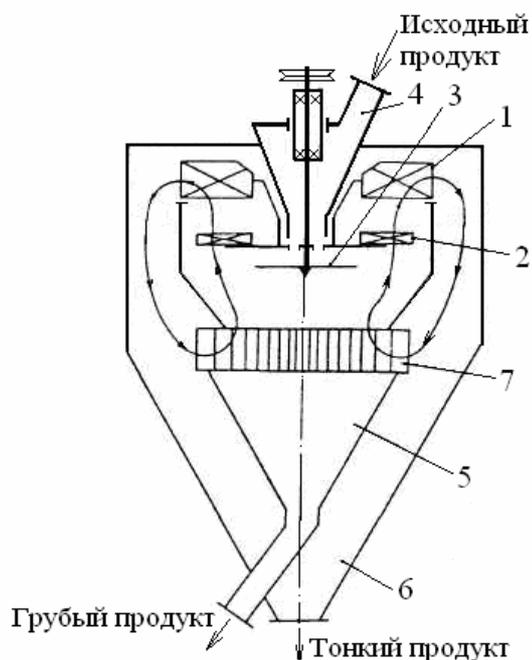
Разделение в воздушно-проходных классификаторах происходит в две ступени. На первой ступени, гравитационной либо гравитационно-инерционной, выделяют из исходного продукта, поступающего вместе с транспортирующим газом, самые крупные частицы. На второй, центробежной ступени, происходит окончательное разделение исходного материала на два продукта, при этом крупные частицы центробежной силой отбрасываются к стенкам внутреннего конуса или корпуса, а мелкие вместе с воздухом уходят через центральный патрубок. Воздушный поток в классификаторах закручивается при помощи лопаток, установленных по ходу потока под некоторым углом. Регулирование крутки потока, а, следовательно, и граничного размера разделения осуществляется путем изменения угла поворота лопаток.

Применяются эти классификаторы в системах измельчения замкнутого типа, как со среднеходными мельницами, так и с барабанными, молотковыми и струйными. Несмотря на широкое распространение, эффективность разделения в данных классификаторах различных материалов (уголь, доломит, корунд, пигменты) невелика, но в ряде технологий достаточна. Для классификаторов ЦКТИ она колеблется в пределах 30 – 45 %. Несколько выше, от 45 до 60 %, эффективность разделения у классификаторов ИЭИ. Нижняя граница разделения в описанных классификаторах колеблется в пределах 20 – 100 мкм, в отдельных установках до 10 мкм.

Основными достоинствами центробежных воздушно-проходных классификаторов является высокая производительность (десятки и сотни тонн в час), простота конструкции, надежность и долговечность, вследствие отсутствия движущихся и сложных рабочих органов. К достоинствам можно также отнести возможность совмещения классификации материала на фракции с иными технологическими процессами. Например, подавая на классификацию горячий воздух, можно осуществлять процесс сушки материала. Все это способствовало повсеместному внедрению этих классификаторов в системы пылеприготовления, порошковые технологии и иные производства, связанные с тонкоизмельченными продуктами.

Вместе с тем, одним из недостатков всех проходных классификаторов является зачастую сложная и крупногабаритная система очистки воздуха от мелкой фракции и пыли, включающая дорогостоящее оборудование: электрофильтры, рукавные фильтры, циклоны и т.п.

Центробежные воздушно-замкнутые классификаторы



По принципу работы воздушно-замкнутые классификаторы не имеют существенных отличий от проходных. Основная разница между ними заключается в наличии у воздушно-замкнутых классификаторов устойчивого контура циркуляции потока несущей среды. Циркуляция потока газа может быть как внутренней, в пределах рабочего объема классификатора, так и внешней. Схема воздушно-замкнутого классификатора с внутренней циркуляцией газа представлена на рисунке 5.

Основным рабочим элементом классификатора является ротор, состоящий из вентилятора 1, крыльчатки 2 и распределительной тарелки 3. Исходный материал через патрубок 4 подается на распределительную тарелку 3, сбрасывающую материал к периферии. Сброшенные частицы попадают в восходящий поток воздуха, который создается вентилятором 1. Крупные частицы выпадают в по-

лость сбора крупного продукта 5, а мелкие поднимаются вверх и подвергаются окончательной классификации на лопастях крыльчатки 2. Прошедшие через лопасти крыльчатки частицы вместе с воздухом проходят лопасти вентилятора и оседают по внутренней стороне корпуса, затем отводятся в полость сбора мелкого продукта 6. Воздух с незначительным количеством мелких частиц просасывается через жалюзи 7 и возвращается на классификацию.

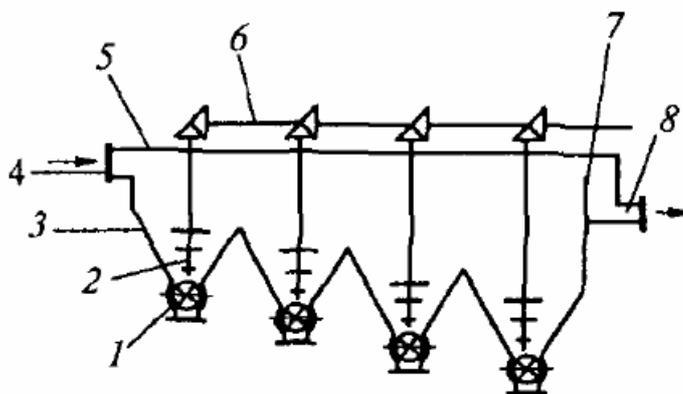
Грубая регулировка границы разделения осуществляется изменением числа лопастей крыльчатки 2. Чем больше лопастей, тем меньше размер ячейки эквивалентного сита (при одинаковой частоте вращения), тем меньше граничный размер разделения. Тонкая регулировка осуществляется шиберами, при помощи которых изменяют скорость воздуха в зоне классификации.

Эффективность разделения в аппаратах такого типа может достигать 70–75 %, при границе разделения 28–88 мкм. Такая техническая характеристика сама по себе неплохая по сравнению с классификаторами других типов, однако, существует ряд недостатков, сдерживающих повсеместное внедрение их в промышленность. К основным из них можно отнести следующее. Сложность конструкции и наличие большого числа вращающихся частей требуют значительных затрат на содержание и ремонт аппарата. Контакт крыльчатки и вентилятора с полидисперсным материалом способствует быстрому износу их рабочих поверхностей. Невозможность совмещения процессов разделения и сушки, так как некуда отводить испаренную влагу.

Существенным недостатком воздушно-замкнутых классификаторов является то, что агрегирование их с мельницами не позволяет добиться того эффекта, как в случае с проходными. Из мельницы материал на разделение в воздушно-замкнутый классификатор подается отдельно от воздуха, следовательно, осуществить продувку мельницы проходящим через классификатор воздухом (как в схемах с проходными аппаратами) не представляется возможным. Если же осуществить вентиляцию мельницы сторонним воздухом, то это приводит к дополнительным капитальным и эксплуатационным затратам.

Многосекционные гидравлические классификаторы

Наиболее перспективные аппараты среди гидроклассификаторов. Они позволяют получать такое количество фракций, которое технологически необходимо. На рис. показан один из таких



аппаратов, применяемый для разделения на фракции частиц, находящихся в жидкой среде.

Классификатор состоит из корпуса 5, расширяющегося по ходу потока, конических сборников 3 для различных фракций материала, затворов 1 для вывода продукта, мешалок 2 для предотвращения уплотнения оседающей в конусе фракции, загрузочного штуцера 4, порога 7, выводного штуцера 8 и приводного устройства для мешалок 6.

Данный классификатор предназначен для разделения частиц на классы по крупности и удельным массам. Поступившая в него суспензия постепенно теряет скорость в направлении выходного штуцера. В первом сборнике оседает самая крупная (или тяжелая) фракция, а в каждом последующем - все более мелкие (или легкие) фракции. Самая мелкая фракция выносится потоком через штуцер 8 и отделяется от жидкого носителя в специальном устройстве либо уходит в слив.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ

Одним из распространенных промышленных способов разделения неоднородных жидких систем является центрифугирование. В центрифугах происходят процессы отстаивания и фильтрации в поле центробежных сил, поэтому центрифуги - это более эффективные машины для разделения неоднородных жидких систем, чем рассмотренные отстойники и фильтры.

По принципу действия центрифуги делят на отстойные и фильтрующие. Барабаны (роторы) отстойных центрифуг имеют сплошную, а фильтрующих - дырчатую (перфорированную) стенку, покрытую фильтровальной сеткой или тканью.

Фильтрующие центрифуги применяют для разделения сравнительно крупнодисперсных суспензий кристаллических и аморфных продуктов, промывки получающихся при этом осадков, а также отделения влаги от штучных материалов.

Отстойные центрифуги предназначены для разделения плохо фильтрующихся суспензий, а также для разделения суспензий по крупности частиц твердой фазы. Отстойные центрифуги иногда, в свою очередь, подразделяют на собственно отстойные, осветляющие, концентрирующие и разделяющие (или сепарирующие).

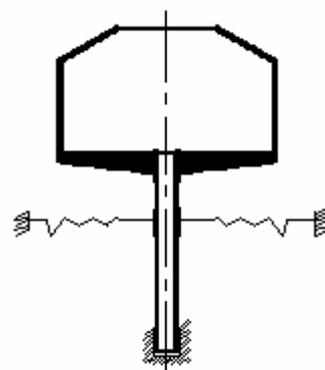
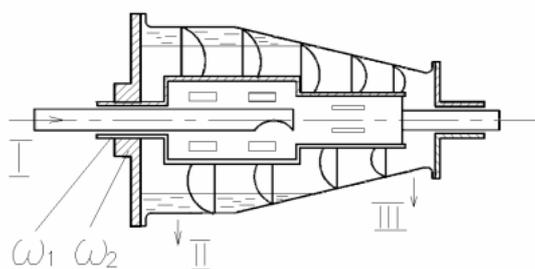
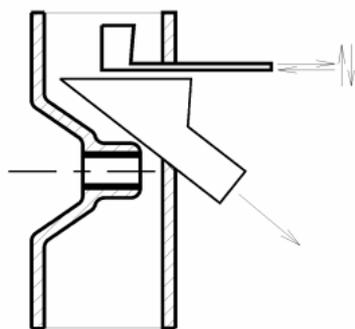
Фактор разделения показывает, во сколько раз центробежное ускорение, развиваемое в данной центрифуге, больше ускорения свободного падения. Фактор разделения численно равен центробежной силе, возникающей при вращении тела весом $G = 1$ кгс. Чем больше фактор разделения, тем интенсивнее происходит процесс центрифугирования (исключение составляет центрифугирование легко сжимающихся осадков в фильтрующих центрифугах). Величина фактора разделения в современных центрифугах лимитируется условиями прочности и динамической устойчивости машины.

Классификация центрифуг

Центрифуги классифицируют:

- 1) по величине фактора разделения;
- 2) по физической сущности процесса - осадительные и фильтрующие;
- 3) по характеру работы- периодические и непрерывные;
- 4) по расположению ротора;
- 5) по способу выгрузки осадка.

По фактору разделения промышленные центрифуги условно делят на: нормальные центрифуги с фактором разделения $\Phi_r < 3500$; скоростные или сверхцентрифуги с фактором разделения $\Phi_r > 3500$.



По способу выгрузки осадка из барабана различают центрифуги с выгрузкой ручной, гравитационной, шнековой, ножами и скребками, пульсирующими поршнями и др. (рис).

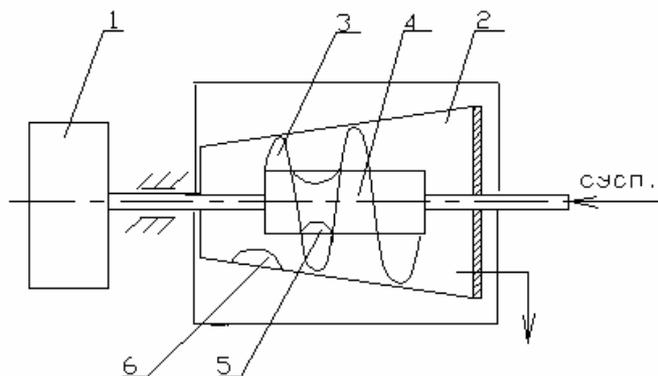
По конструкции опор и расположению оси барабана центрифуги делят на подвесные вертикальные (на колонках), вертикальные стоячие (с подпертым валом), горизонтальные, наклонные

По организации процесса разделяют периодически и непрерывно действующие центрифуги.

Шнековая выгрузка осадка

Центрифуги со шнековой выгрузкой осадка имеют в роторе шнек, число оборотов которого на 0,65 – 2 % отличается от числа оборотов ротора, что и обеспечивает сравнительно медленное движение осадка.

Шнековая выгрузка применяется как в осадительных, так и в фильтрующих центрифугах. Наличие шнека затрудняет промывку осадка в последних.



Недостатки шнековой выгрузки: а) осадок заметно измельчается; б) шнек довольно быстро изнашивается; в) наблюдается значительная, периодически усиливающаяся вибрация

(когда складывается динамическая неуравновешенность шнека и ротора – при их определенном взаимном расположении).

Витки шнека могут выполняться сплошными или ленточными, укрепленными на стойках.

Шнековая выгрузка является одним из наиболее надежных, универсальных и широко применяемых способов.

Ножевой сьем осадка

Ножевой сьем осадка применяется в осадительных (ОГН) и фильтрующих (ФГН) автоматических центрифугах и некоторых других конструкциях. Особенностью машин ОГН, ФГН является периодичность выполнения операций, заданных программой автоматического управления, при непрерывном вращения ротора.

Широкое применение обусловлено их универсальностью, они могут использоваться в широком интервале дисперсности концентраций твердой фазы. При этом ФГН используется при дисперсности твердой фазы 30 - 150 мкм, ОГН - при размере зерен 5 - 40 мкм.

Применение фильтрующего ротора предпочтительно, так как осадок получается более сухой, имеется возможность его промывки, поэтому тип ФГН более распространен.

Из ротора осадительных центрифуг осветленная жидкость (фугат) удаляется путем перелива через борт или через специальную отстойную трубу. Применяется механизм среза нескольких типов: а) широким ножом, перемещающимся радиально; б) широким ножом (тоже на всю длину ротора), перемещающимся путем поворота на определенный угол, в) узким ножом, имеющим возвратно-поступательное движение вдоль ротора и, кроме того, совершающим вращательное движение.

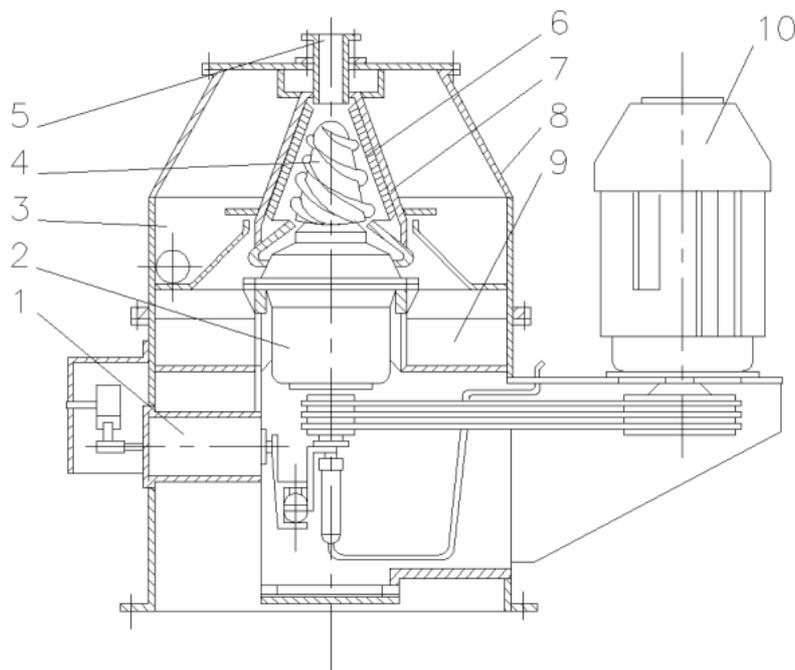
Фильтрующие центрифуги непрерывного действия

Фильтрующие центрифуги непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка предназначены главным образом для разделения суспензий с крупнозернистой твердой фазой, в которой преобладают частицы размером свыше 0,15 мм. Возможна также обработка суспензий с крупнозернистой твердой фазой. Наиболее эффективна работа центрифуг при объемном содержании суспензии выше 40%.

Конструктивные особенности фильтрующих шнековых центрифуг (рисунок 60) таковы, что не позволяют получать фильтрат с малым содержанием твердой фазы. Их применяют обычно в таких процессах, где фильтрат возвращается в производственный цикл или же дополнительно осветляется.

Достоинства: высокая производительность, хорошая степень обезвоживания осадков, низкие затраты энергии и малая масса являются отличительными особенностями фильтрующих центрифуг со шнековой выгрузкой осадка.

К недостаткам этих машин относятся: возможность обработки только крупнозернистой неабразивной твердой фазы, значительный унос твердой фазы с фильтратом, недостаточно высокая эффективность промывки осадка и существенное измельчение твердой фазы.



1 - предохранительное устройство; 2 - редуктор; 3 - камера для фильтрата; 4 - шнек; 5 - питающая труба; 6 - ротор; 7 - сито; 8 - кожух-станина; 9 - камера для осадка; 10 - электродвигатель.

Рис. Конструктивная схема вертикальных центрифуг типа ФВШ.

По сравнению с фильтрующими центрифугами с пульсирующей выгрузкой осадка фильтрующие шнековые центрифуги имеют значительно меньший удельный расход энергии и металла на единицу производительности, а благодаря высокому значению фактора разделения и проведению процесса в тонком слое могут обеспечить получение осадка более низкой влажности. Вместе с тем на центрифугах с пульсирующей выгрузкой осадка достигаются более качественная промывка осадка, меньшее измельчение твердой фазы и унос ее с фильтратом.

Фильтрующие центрифуги со шнековой выгрузкой осадка можно разделить на две группы: быстроходные малой и средней производительности и сравнительно тихоходные крупнотоннажные.

Фильтры для разделения суспензий

Для осуществления фильтрования необходимо создать разность давлений по обе стороны от перегородки, которая выполняет роль начального сопротивления для протекания процесса, поэтому скорость процесса фильтрования прямо пропорциональна разности давлений и обратно пропорциональна сопротивлению пористой перегородки и осадка. Дополнительное сопротивление на фильтрующей перегородке возрастает при увеличении толщины осадка или закупоривании его частицами пористой фильтрующей перегородки, а также при одновременном увеличении толщины осадка и закупоривании пор его и перегородки. Наличие давления также приводит к увеличению сопротивления за счет сжатия осадка и пористой перегородки вследствие уменьшения в них пор для прохождения фильтрата и изменения их формы (из-за сжатия и сдвига).

Пористая перегородка создает при фильтровании первоначальное сопротивление, обусловленное вязкостью жидкой фазы (фильтрата), диаметром, формой поперечного сечения и извилистостью каналов пор. Это сопротивление может изменяться из-за набухания материала перегородки, изменения поверхностного натяжения системы жидкость - твердая перегородка, адсорбции жидкости на стенках, возникновения неподвижного слоя жидкости у стенок пор и электроосмотического потока жидкости, а также от частичного или полного перекрытия пор твердыми частицами суспензий.

Осадок создает обычно основную долю сопротивления протеканию процесса. Это сопротивление зависит в основном от структур и толщины осадка, на него влияют также физико-химические факторы системы жид- кость - твердое тело.

Структура осадков по крупности частиц изменяется, начиная от фильтрующей перегородки, где осаждаются самые мелкие частицы, проникающие в ее поры. Затем осаждаются более крупные частицы, но между ними располагаются и более мелкие, закупоривающие пространство между крупными частицами.

На протекание процесса фильтрации влияют две группы факторов: микрофакторы и макрофакторы. К макрофакторам относятся структура и геометрия фильтровальной перегородки и слоя осадка, вязкость фильтрата, разность давлений по сторонам фильтра; к микрофакторам - размеры и форма пор, по которым движется жидкость в осадке к фильтровальной перегородке.

Фильтрация суспензий обычно заканчивается промывкой и про сушкой осадков. Эти процессы характеризуются гидродинамическими, а также массообменными и диффузионными явлениями.

Современная теория фильтрации базируется на законах капиллярной гидравлики, которые выражаются законами Дарси и Навье-Стокса. Для их применения процесс фильтрации подразделен на следующие виды: 1) процесс фильтрации образованием осадка; 2) процесс фильтрации закупориванием пор образующегося осадка; 3) процесс фильтрации промежуточного вида; 4) процесс фильтрации с постепенным закупориванием пор фильтрующей перегородки; 5) процесс фильтрации с полным закупориванием пор фильтрующей перегородки и уменьшением их числа.

Несмотря на различия между этими видами процессов фильтрации, их гидродинамику можно описать общим уравнением дня гидравлического сопротивления K движению жидкости через фильтр (фильтровальную перегородку и осадок).

Материал фильтрующей перегородки.

Выбор материала фильтрующей перегородки обусловлен степенью агрессивности фильтруемой суспензии и дисперсностью ее твердой фазы. Фильтрующие перегородки изготовляют из текстильных и волокнистых материалов: бязи, парусины, тика, сукна, шелка, асбеста, шлаковой и стеклянной ваты, бумаги и картона.

Для повышения кислотостойкости хлопчатобумажной ткани ее подвергают нитрованию. Шерстяные ткани устойчивы к кислотам, но разрушаются щелочами. Наиболее устойчивы фильтрующие перегородки из асбеста, шлаковой и стеклянной ваты, а также металлические сетки из бронзы и коррозионностойкой стали.

В качестве материала для зернистых или волокнистых перегородок применяют песок, инфузориальную землю, кокс, уголь, целлюлозу и др. Такие перегородки используют в случаях, когда твердая фаза суспензии имеется в малом количестве и не используется после фильтрации.

В качестве жестких фильтрующих перегородок применяют керамические фильтровальные камни, плитки, свечи и кольца, стойкие к действию кислот и щелочей и позволяющие получить чистый фильтрат. Коллоидные пленки или материалы изготовляют из нитроцеллюлозы, пергаментной бумаги и др. Эти фильтрующие перегородки имеют очень мелкие поры (13 мкм) и могут задерживать коллоидные частицы.

Классификация

Промышленные фильтры разделяются по режиму работы на фильтры периодического и непрерывного действия, а по величине рабочего давления на вакуумфильтры и фильтры, работающие под давлением.

Вакуумные					
Периодического действия		Непрерывного действия			
Нутч-фильтры открытые	Ленточные	Барабанные	Дисковые	Карусельные	Ленточные
Фильтры, работающие под давлением					
Периодического действия			Непрерывного действия		
Фильтрпрессы	Нутч-фильтры закрытые	Мешочные	Патронные	Барабанные	Дисковые

Фильтры непрерывного действия.

В фильтрах непрерывного действия одновременно проводятся операции: фильтрация, сушка, промывка, разгрузка и регенерация фильтровальной ткани. 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 и ленточные, и по рабочему давлению на аппараты, работающие под разрежением и под давлением.

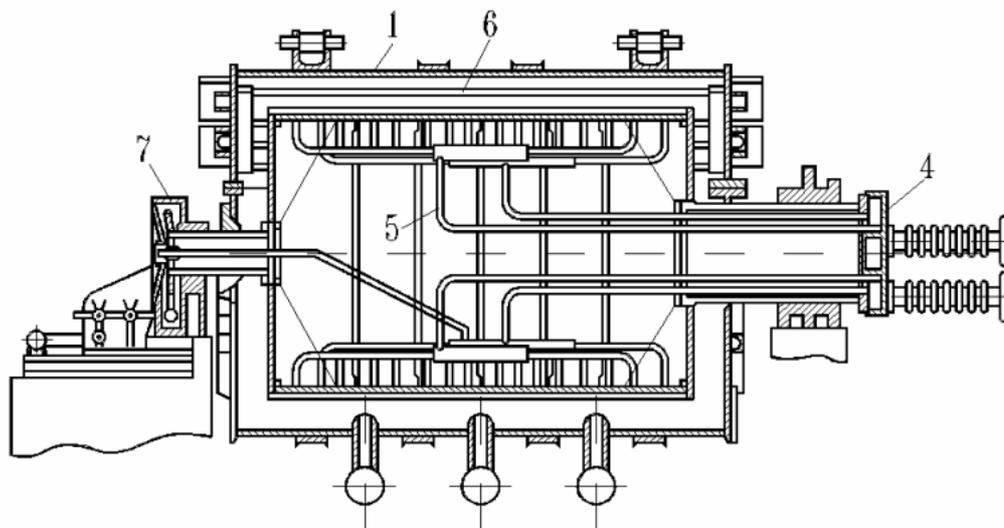
К недостаткам этих фильтров относятся их относительная сложность, высокая стоимость, необходимость установки вспомогательного оборудования и большой расход энергии главным образом на вакуум насосы и воздуходувки.

Барабанные фильтры

Наиболее широкое в химической промышленности распространение получили барабанные фильтры, работающие под разрежением (барабанные вакуум-фильтры). По конструкции эти фильтры подразделяют на аппараты с внешней фильтрующей поверхностью и внутренней.

Чередование операций в барабанных фильтрах происходит с помощью распределительной головки или специальных клапанов.

Внутри барабана расположена система распределительных труб, связывающих поверхность обечайки барабана с вращающимся диском, который приварен к торцу правой цапфы (рисунок). Барабан опирается двумя цапфами на подшипники скольжения, установленные вне корпуса



фильтра. В местах выхода цапф из корпуса предусмотрены сальниковые уплотнения. Левая цапфа оканчивается червячным колесом привода барабана. На правой цапфе установлена распределительная головка барабана.

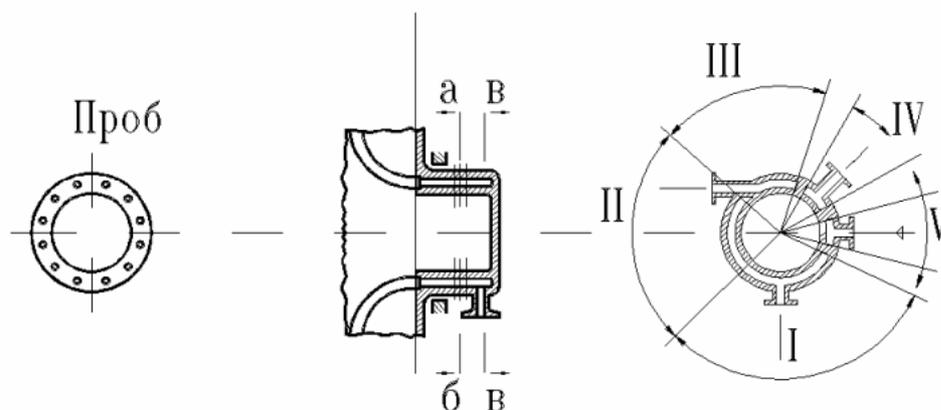
1 - барабан; 2 - нижнее полукорыто; 3 - крышка; 4 - распределительная головка; 5 - система распределительных труб; 6 - устройство для промывки осадка; 7 - привод барабана.

Рисунок - Барабанный вакуум-фильтр.

В верхней части корпуса над барабаном расположен ряд труб, по которым к поверхности барабана подается растворитель для промывки осадка. На образующей барабана установлен нож для съема осадка, который попадает затем в шнек и выводится через штуцер.

Часть нижней поверхности барабана погружена в суспензию. В барабане имеется несколько рабочих зон: фильтрации, промывки осадка растворителем, просушки, просушки, отдувки и съема осадка.

При помощи распределительной головки фильтра (рисунок) с поверхности барабана отводят фильтрат и растворитель (промывочную жидкость) а также инертный газ для отдувки осадка.



1 - подвижный диск; 2 - неподвижный диск; I - зона фильтрации; II - зона просушки; III - зона промывки и просушки осадка; IV - зона отдувки осадка; V - зона оситки ткани.

Рисунок – Схема устройства распределительной головки.

В головке имеются прикрепленные 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.

Стандартные барабанные вакуум-фильтры с поверхностью фильтрации от 1 до 40 м имеют барабан диаметром 1 - 3 мм, длиной от 3,5 - 4,0 м. Барабан совершает от 0,1 до 3 оборотов в минуту, необходимая мощность двигателей фильтра от 0,1 - 4,5 кВт.

Способ удаления осадка зависит от его свойств и толщины. Так, плотный, маловажный осадок толщиной 8 - 10мм снимают с помощью ножа. Для удаления тонких (2 - 4мм) слоев осадка применяют бесконечные шнуры, охватывающие барабан, тонкие мажущие осадки удаляются съемным валиком, очень тонкий (толщиной около 1 мм) осадок снимают с помощью бесконечного полотна фильтрующей перегородки. Для предохранения осадка от растрескивания (во избежании уменьшения вакуума) применяют приспособления для затирания трещин и промывки осадка через холст. Для дополнительного удаления влаги из осадка используют отжимные валики и специальные вибраторы. Наиболее распространенным является угол, соответствующий части барабана фильтра, погруженной в жидкость, обычно составляет около 170°, однако, имеются вакуум-фильтры с большей или меньшей глубиной погружения.

Для разделения высококонцентрированных суспензий с тяжелой твердой фазой имеются вакуум-фильтры с неглубоким погружением барабана в жидкость. Эти фильтры позволяют снимать тонкий слой осадка, так как его фильтрующая поверхность легко очищается. Благодаря расположению съемного ножа. Ниже центра барабана осадок под действием силы тяжести легко

очищается от поверхности барабана, и отдувка не требуется. Фильтры этой конструкции нашли применение для обезвоживания флотационных концентратов и промывки цианистых шламов.

Для фильтрации коллоидных и легких веществ служат вакуум-фильтры барабанного типа с намывной, зернистой или волокнистой фильтрующей поверхностью. Для нанесения этого слоя ванну фильтра предварительно заполняют жидкостью, содержащей определенное количество вспомогательного фильтрующего вещества. При включении фильтра в работу на его поверхность в течении 0,5 – 1 часа наносится фильтрующий слой толщиной 25 – 50 мм. Для удаления осадка служит передвижной нож с острым лезвием, который снимает вместе с осадком очень тонкий слой намытого слоя фильтрующей перегородки. Нож имеет микрометрическое устройство для автоматического перемещения на 0,01 – 0,05 мм за один оборот барабана. Иногда фильтр снабжают двумя ножами, один из которых удаляет осадок, а другой фильтрующую перегородку.

Для фильтрации жидкости с тяжелыми взвешенными частицами применяют также барабанные вакуум-фильтры с внутренней фильтрующей поверхностью.

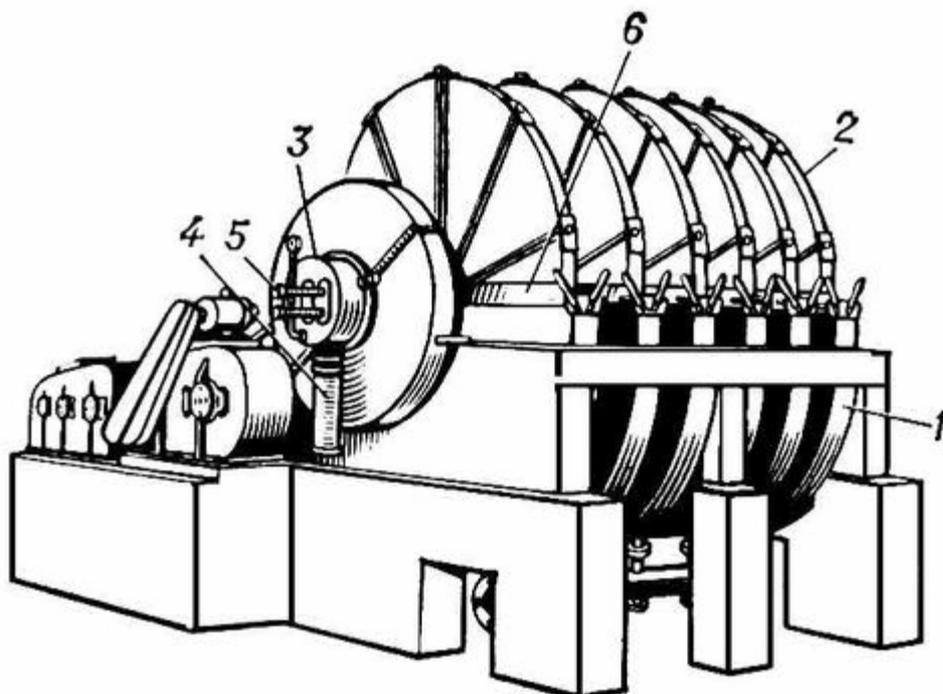
Дисковые фильтры

Эти аппараты имеют более развитую фильтрующую поверхность, чем барабанные. Поверхность фильтрации стандартных фильтров (рисунок 42а) от 1 до 85 м диаметр диска от 0,9 до 2,5 м, число дисков от 1 до 10, частота вращения фильтрующих дисков 0,13 - 2 об/мин, мощность электродвигателя 0,2 - 5 кВт, большие фильтры имеют две распределительные головки.

Диски фильтра изготавливают из отдельных секторов. Для облегчения отделения осадка и уменьшения износа фильтрующей перегородки применяют выпуклые секторы.

Для съема осадка с поверхности дисков применяют сжатый воздух (для отдувки) и ножи или валки (для отрыва направления осадка). Направляющими для отделенного осадка служат также наклонные пластины, закрепленные на шарнирах, и ролики, катящиеся по поверхности диска. Ролики прижимаются к диску противовесами.

По сравнению с другими аппаратами дисковые фильтры отличаются наибольшей фильтрующей поверхностью на единицу занимаемой площади, возможностью независимого ремонта отдельных дисков, малым расходом фильтрующей ткани и небольшим расходом энергии. Однако,



в этих аппаратах плохо осуществляется промывка осадка, при которой разбавляется суспензия в ванне фильтра. Дисковые фильтры, так же, как и барабанные, изготавливают для работы под давлением. Фильтрующая поверхность этих фильтров составляет 2,3 - 74,3 м. По устройству такие фильтры аналогичны дисковым вакуум-фильтрам. Вал с дисками помещен в закрытом корпусе, в котором подачей свежего воздуха или инертного газа создается давление до 0,7 МПа.

Дисковый фильтр: 1 — секции; 2 — фильтрующие элементы — диски; 3 — распределительное устройство; 4 — трубопровод для соединения с источником вакуума и удаления фильтрата; 5 — трубопроводы для подачи сжатого воздуха; 6 — ножи для съема осадка.

Мутный и чистый фильтрат выходит отдельно через концы дискового вала. Осадок снимается с поверхности диска ножами и выводится из аппарата шнековым устройством с пружинным клапаном. Иногда дисковые фильтры под давлением применяют только для сгущения суспензий, тогда их конструкция упрощается.

ТЕПЛООБМЕННАЯ АППАРАТУРА.

Процессы теплообмена играют важную роль в современной технике. Они применяются всюду, где возникает необходимость нагрева или охлаждения среды для ее обработки и утилизации тепла. Особенно широко процессы теплообмена используют в химической, нефтеперерабатывающей, энергетической, металлургической и пищевой промышленности. В химической промышленности теплообменное оборудование составляет по весу и стоимости 15 - 18 % от всего оборудования, а в нефтеперерабатывающей — до 50 %.

Классификация и основные требования к теплообменным аппаратам.

Теплообменные аппараты классифицируют по различным признакам. На рисунок 107 представлены классификация и номенклатура теплообменных аппаратов. По способу передачи тепла их можно разделить на две группы: поверхностные и смешения. Теплообменники имеют конструктивные особенности в зависимости от назначения, от направления движения рабочих сред, от компоновки теплообменной поверхности, градиента температур теплоносителей, материала из которого изготовлен аппарат, от конфигурации теплообменной поверхности. Требования к промышленным теплообменным аппаратам в зависимости от конкретных условий применения весьма разнообразны. Основными требованиями являются: обеспечение наиболее высокого коэффициента теплопередачи при возможно меньшем гидравлическом сопротивлении; компактность и наименьший расход материала; надежность и герметичность в сочетании с разборностью и доступностью поверхности теплообмена для механической очистки ее от загрязнений; унификация узлов и деталей; технологичность механизированного изготовления широких рядов поверхностей теплообмена для различного диапазона рабочих температур, давлений и т.д.

При создании новых, более эффективных теплообменных аппаратов стремятся: уменьшить удельные затраты материалов, труда, средств и затрачиваемой при работе энергии по сравнению с теми же показателями существующих теплообменников. Удельными затратами для теплообменных аппаратов называются затраты, отнесенные к тепловой производительности в заданных условиях.

Интенсивностью процесса или удельной тепловой производительностью теплообменного аппарата называется количество тепла, передаваемого в единицу времени через единицу поверхности теплообмена при заданном тепловом режиме.

Интенсивность процесса теплообмена характеризуется коэффициентом теплопередачи K . На интенсивность и эффективность влияют также форма поверхности теплообмена; эквивалентный диаметр и компоновка каналов, обеспечивающие оптимальные скорости движения сред; средний температурный напор; наличие турбулизирующих элементов в каналах; оребрение и т.д. Кроме конструктивных методов интенсификации процесса теплообмена существуют режимные методы, связанные с изменением гидродинамических параметров и режима течения жидкости у поверхности теплообмена. Режимные методы включают: подвод колебаний к поверхности теплообмена, создание пульсаций потоков, вдувание газа в поток либо отсос рабочей среды через пористую стенку, наложение электрических или магнитных полей на поток, предотвращение загрязнений поверхности теплообмена путем сильной турбулизации потока и т.д.

Типовые конструкции

Процессы теплообмена осуществляются в теплообменных аппаратах различных типов и конструкций.

По способу передачи тепла теплообменные аппараты делят на поверхностные и смесительные. В поверхностных аппаратах рабочие среды обмениваются теплом через стенки из теплопроводного материала, а в смесительных аппаратах тепло передается при непосредственном перемешивании рабочих сред.

Смесительные теплообменники проще по конструкции чем поверхностные: тепло в них используется полнее. Но они пригодны лишь в тех случаях, когда по технологическим условиям производства допустимо смешение рабочих сред.

Поверхностные теплообменные аппараты, в свою очередь, делятся на рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных аппаратах теплообмен между различными теплоносителями происходит через разделительные стенки. При этом тепловой поток в каждой точке стенки сохраняет одно и то же направление. В регенеративных теплообменниках теплоноситель попеременно соприкасается с одной и той же поверхностью нагрева. При этом направление теплового потока в

каждой точке стенки периодически меняется. Рассмотрим рекуперативные поверхностные теплообменники непрерывного действия, наиболее распространенные в промышленности.

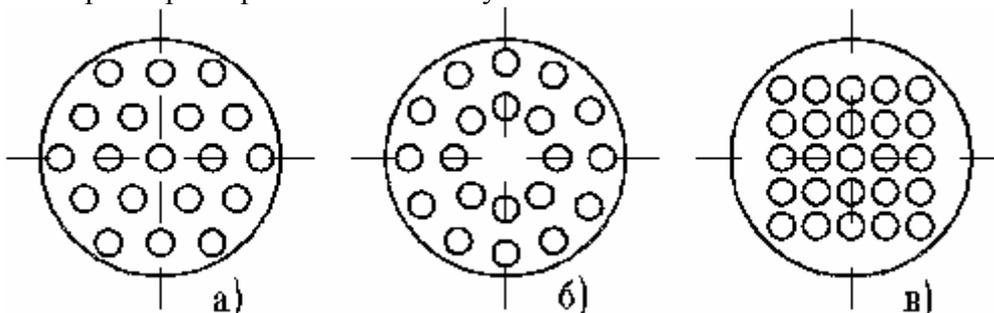
Основными элементами кожухотрубчатых теплообменников являются пучки труб, трубные решетки, корпус, крышки, патрубки. В кожухотрубчатом теплообменнике (рисунок 109) одна из обменивающихся теплом сред 1 движется внутри труб (в трубном пространстве), а другая 2 – в межтрубном пространстве.

Среду обычно направляют противотоком друг к другу. При этом на-

греваемую среду направляют снизу вверх, а среду, отдающую тепло – в противоположном направлении. Такое направление движения каждой среды совпадает с направлением, в котором стремится двигаться данная среда под влиянием изменения ее плотности при нагревании и охлаждении.

Кроме того, при указанных направлениях движения сред достигается более равномерное распределение скоростей и идентичные условия теплообмена по площади поперечного сечения аппарата. В противном случае, например, при подаче более холодной (нагреваемой) среды сверху теплообменника, более нагретая часть жидкости, как более легкая, может скапливаться в верхней части аппарата, образуя "застойные" зоны.

Трубы в решетках обычно равномерно размещают по периметрам правильных шестиугольников, т.е. по вершинам равносторонних треугольников (рисунок а), реже применяют размещение труб по концентрическим окружностям (рисунок б). В отдельных случаях, когда необходимо обеспечить удобную очистку наружной поверхности труб, их размещают по периметрам прямоугольников (рисунок в). Все указанные способы размещения труб преследуют одну цель обеспечить возможно более компактное размещение необходимой поверхности теплообмена внутри аппарата. В большинстве случаев наибольшая компактность достигается при размещении трубок по периметрам правильных шестиугольников.



а) по периметрам правильных шестиугольников; б) по концентрическим окружностям; в) по периметрам прямоугольников (коридорное расположение).

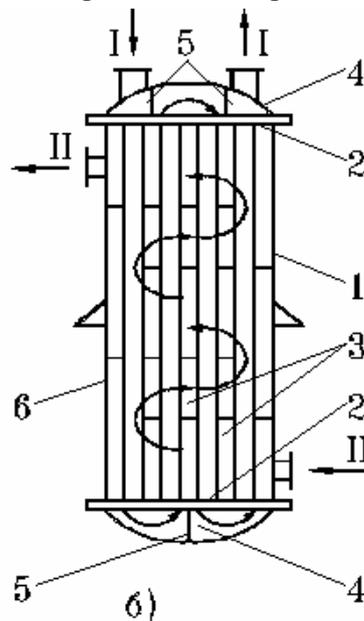
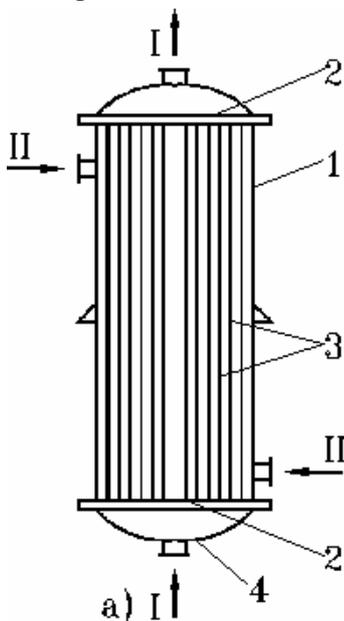
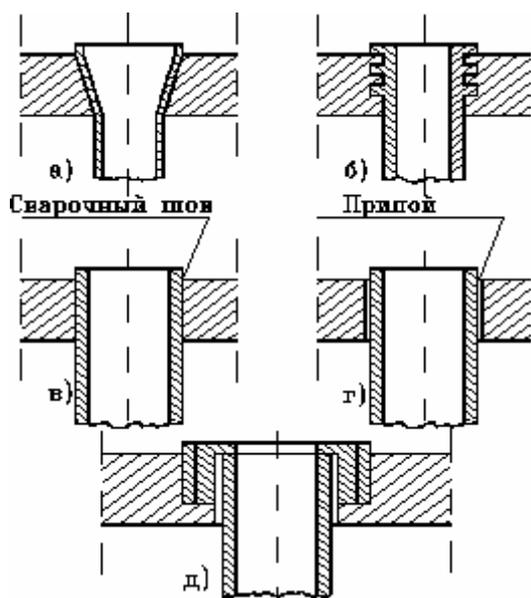


Рис – Способы размещения труб в теплообменниках.

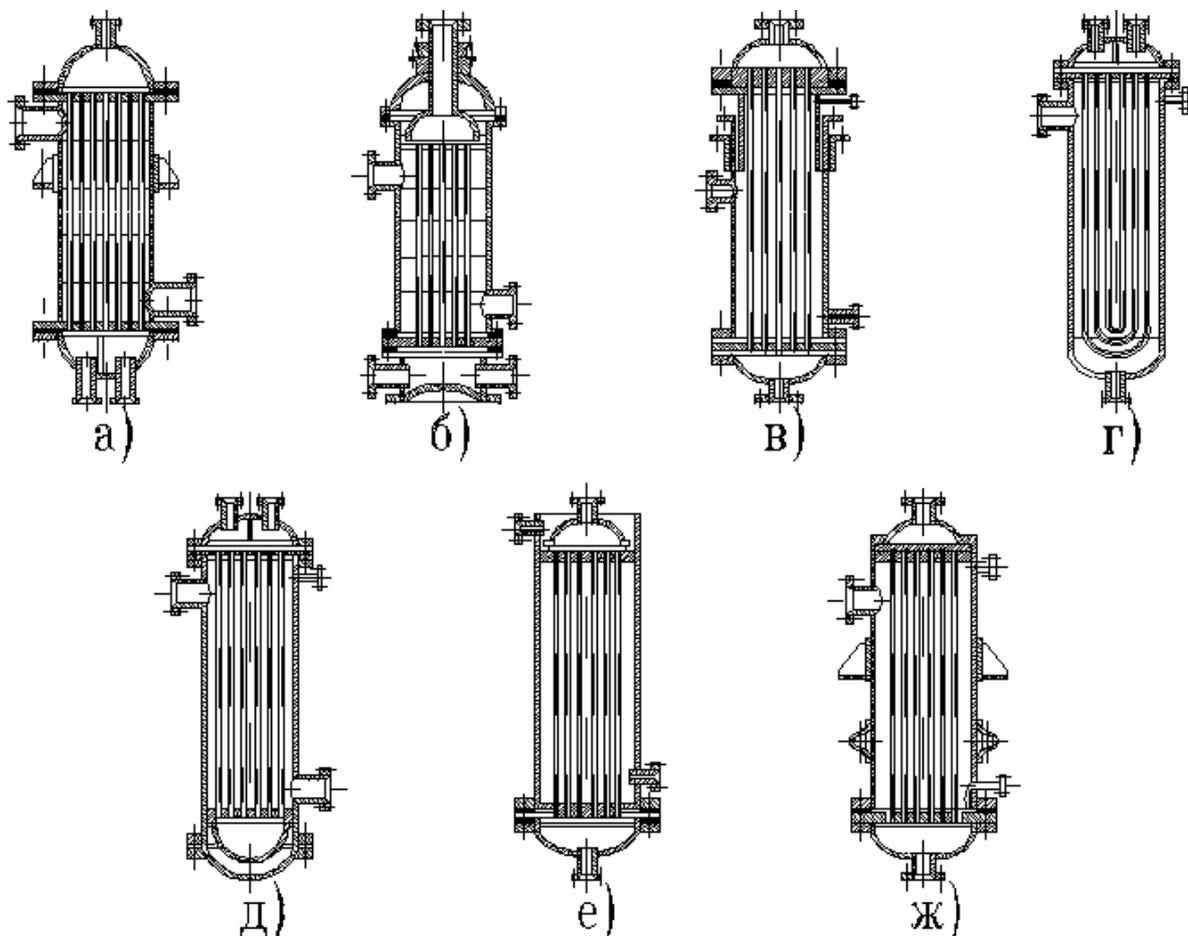


Трубы закрепляют в решетках чаще всего развальцовкой (а, б) причем особенно прочное соединение (необходимое в случае работы аппарата при повышенных давлениях) достигается при устройстве в трубных решетках отверстий с кольцевыми канавками, которые заполняются металлом трубы в процессе ее развальцовки (б). Кроме того, используют закрепление труб сваркой (в), если материал трубы не поддается вытяжке и допустимо жесткое соединение труб с трубной решеткой, а также пайкой (г), применяемой для соединения главным образом медных и латунных труб. Изредка используют соединение труб с решеткой посредством сальников (д), допускающих свободное продольное перемещение труб и возможность их быстрой замены. Такое соединение позволяет значительно уменьшить температурную деформацию труб, но является сложным, дорогим и недостаточно надежным.

Для увеличения скорости движения теплоносителей с целью интенсификации теплообмена нередко устанавливают перегородки, как в трубном, так и в межтрубном пространстве.

Кожухотрубчатые теплообменники могут быть вертикальными, горизонтальными и наклонными в соответствии с требованиями технологического процесса или удобства монтажа. В зависимости от величины температурных удлинений трубок и корпуса применяют кожухотрубчатые теплообменники жесткой, полужесткой и нежесткой конструкции.

Типовые конструкции теплообменников.



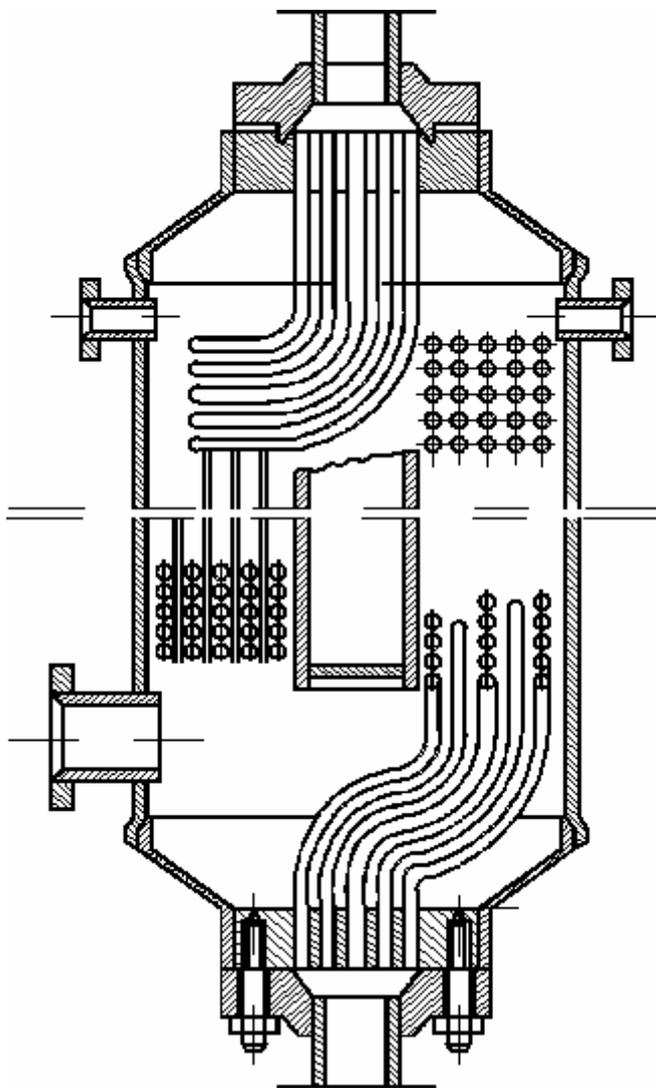
Аппараты жесткой конструкции (а) используют при сравнительно небольших разностях температур корпуса и пучка труб, эти теплообменники отличаются простотой устройства.

В кожухотрубчатых теплообменниках нежесткой конструкции предусматривается возможность некоторого независимого перемещения теплообменных труб и корпуса для устранения дополнительных напряжений и температурных удлинений. Нежесткость конструкции обеспечивается сальниковым уплотнением на патрубке (б) или корпусе (в), пучком U-образных труб (г), подвижной трубной решетки закрытого и открытого типа (д, е).

В аппаратах полужесткой конструкции температурные деформации компенсируются осевым сжатием или расширением специальных компенсаторов, установленных на корпусе (ж). Полужесткая конструкция надежно обеспечивает компенсацию температурных деформаций, если они не превышают 10 – 15 мм, а условное давление в межтрубном пространстве составляет не более 2,5 кгс/см².

Витые теплообменники

Поверхность нагрева витых теплообменников (рисунок 115) komponуется из ряда концентрических змеевиков, заключенных в кожух и закрепленных в соответствующих головках. Теплоносители движутся по трубному и межтрубному пространствам. Витые теплообменники широко применяют в аппаратуре высокого давления для процессов разделения газовых смесей методом глубокого охлаждения. Эти теплообменники характеризуются способностью к самокомпенсации, достаточной для восприятия деформаций от температурных напряжений.



Пластинчатые теплообменники

В последнее время распространены пластинчатые разборные теплообменники, отличающиеся интенсивным теплообменом, простотой изготовления, компактностью, малыми гидравлическими сопротивлениями, удобством монтажа и очистки от загрязнений.

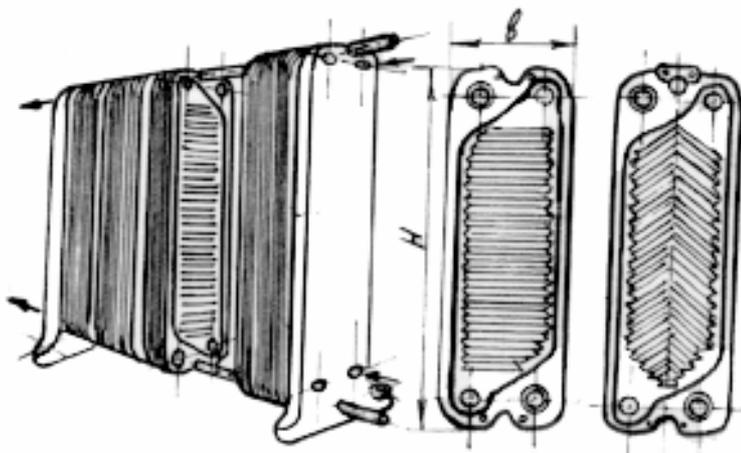


Рисунок - Пластинчатый теплообменник.

Это теплообменники состоят из отдельных пластин, разделенных резиновыми прокладками, двух концевых камер, рамы и стяжных болтов (рисунок). Пластину штампуют из тонколистовой стали (толщина 0,7 мм). Для увеличения поверхности теплообмена и турбулизации потока теплоносителя проточную часть пластин выполняют гофрированной или ребристой, причем гофры могут быть горизонтальными или расположены 'в елку' (шаг гофр 11,5; 22,5; 30 мм; высота 4 - 7 мм).

К пластинам приклеивают резиновые прокладки круглой и специальной формы для герметизации конструкции; теплоноситель направляют либо вдоль пластины, либо через отверстие в следующий канал.

Движение теплоносителей в пластинчатых теплообменниках может осуществляться прямотоком, противотоком и по смешанной схеме. Поверхность теплообмена одного аппарата может изменяться от 1 до 160 м², число пластин – от 7 до 303. НИИХИММАШ рекомендует следующие стандартные размеры пластин: площадь поверхности в м² – 0,2 ; 0,3; 0,5; длина Н в мм – 1000, 1250, 1400; ширина В в мм– 315, 380, 500.

В разборных пластинчатых теплообменниках температура теплоносителя ограничивается 1500 С (с учетом свойств резиновой прокладки), давление не должно превышать 10 кгс/см².

Методика расчета теплообменных аппаратов

Конструкции теплообменных аппаратов весьма разнообразны, однако существует общая методика теплотехнических расчетов, которую можно применять для частных расчетов в зависимости от имеющихся исходных данных.

Существуют два вида теплотехнических расчетов теплообменных аппаратов: конструкторский (проектный) и поверочный.

Конструкторский расчет производится при проектировании теплообменного аппарата, когда заданы расходы теплоносителей и их параметры. Цель конструкторского расчета – определение поверхности теплообмена и конструктивных размеров выбранного аппарата.

Поверочный расчет выполняется для выявления возможности использования имеющихся или стандартных теплообменных аппаратов для тех технологических процессов, в которых используется данный аппарат. При поверочном расчете заданы размеры аппарата и условия его работы, а неизвестной величиной является производительность теплообменного аппарата (фактическая). Поверочный расчет производят для оценки работы аппарата при режимах, отличных от номинальных. Таким образом, целью поверочного расчета является выбор условий, обеспечивающих оптимальный режим работы аппарата.

Конструкторский расчет состоит из теплового (теплотехнического), гидравлического и механического расчетов.

Последовательность конструкторского расчета. Для выполнения расчета должно быть задано: 1) тип теплообменного аппарата (змеевиковый, кожухотрубчатый, труба в трубе, спиральный и др.); 2) наименование нагреваемого и охлаждаемого теплоносителей (жидкость, пар или газ); 3) производительность теплообменного аппарата (количество одного из теплоносителей, кг/с); 4) начальные и конечные температуры теплоносителей.

Требуется определить: 1) физические параметры и скорости движения теплоносителей; 2) расход нагревающего или охлаждающего теплоносителя на основании теплового баланса; 3) движущую силу процесса, т.е. среднюю разность температур; 4) коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи; 5) поверхность теплопередачи; 6) конструктивные размеры аппарата: длину, диаметр и число витков змеевика, длину, число труб и диаметр кожуха в кожухотрубчатом аппарате, число витков и диаметр корпуса в спиральном теплообменнике и др.; 7) диаметры штуцеров для входа и выхода теплоносителей.

КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ

Кристаллизация, как процесс химической технологии широко применяется при получении продуктов в чистом виде. Например, она используется в производстве минеральных удобрений, соды, искусственных волокон, а также во многих производствах фармацевтической нефтехимической, металлургической, пищевой и других отраслях промышленности. Значительный вклад в теорию микроскопических явлений кристаллизации внес Дж. З. Гиббс. Среди отечественных ученых, много сделавших для становления и развития промышленной кристаллизации, в первую очередь следует назвать профессора Л.Н. Матуевича.

Различают три разновидности этого процесса: кристаллизация из растворов, расплавов и газовой фазы. Наибольшее распространение получил процесс кристаллизации из растворов, завершающийся получением большого количества кристаллов (так называемая массовая кристаллизация), а не отдельных монокристаллов.

Выбор конструкции кристаллизатора в каждом конкретном случае требует учета целого ряда фактора: физико-химических свойств продукта, его чистоты, способа создания перенасыщения в растворе масштабов производства и т.д.

Физико-химические основы процесса кристаллизации

Кристаллизацией из раствора называется процесс выделения твердой фазы в виде кристаллов из раствора. Кристаллизация из растворов основана на изменении растворимости твердых веществ.

Кристаллизацией из раствора называется процесс выделения твердой фазы при затвердевании веществ, находящихся в расплавленном состоянии.

Под растворимостью понимается содержание растворенного вещества в растворе при состоянии насыщения, которое зависит от свойства растворенного вещества и растворителя, температуры, а также от наличия примесей. Для большинства твердых веществ растворимость увеличивается с повышением температуры.

Раствор, содержащий максимальное количество растворенного вещества в данном количестве растворителя при определенной температуре, называется насыщенным.

Если раствор содержит большее количество растворенного вещества, то он является перенасыщенным.

Если же раствор содержит меньшее количество растворенного вещества, то он является ненасыщенным.

Перенасыщенный раствор содержит избыточное количество растворенного вещества, превышающее растворимость при данной температуре. Такой раствор неустойчив, из него выделяется избыточное количество растворенного вещества в виде кристаллов. После выделения кристаллов раствор становится насыщенным. Этот насыщенный раствор, полученный в результате выделения кристаллов, называется маточным раствором или маточником.

Пересыщенное состояние раствора может быть достигнуто следующими способами:

- концентрированием раствора за счет удаления части растворителя при кипении или испарении;
- уменьшением растворимости при охлаждении раствора;
- добавлением в раствор веществ, связывающих растворитель или уменьшающих растворимость.

Состояние раствора характеризуется коэффициентом пересыщения Π :

$$\Pi = \frac{C}{C_0}$$

где C и C_0 - молярные концентрации данного и насыщенного растворов в кмоль/м³.

Методы кристаллизации

В промышленности применяют следующие методы кристаллизации:

- 1) изогидрическая кристаллизация, т.е. кристаллизация охлаждением горячих насыщенных растворов (без потери растворителя);
- 2) изотермическая кристаллизация, осуществляется удалением части растворителя путем выпаривания;
- 3) вакуум-кристаллизация при которой горячий насыщенный раствор, попадая в область пониженного давления, охлаждается до температуры насыщения, соответствующей этому давлению, за счет самоиспарения части растворителя;
- 4) кристаллизация высаливанием, осуществляется добавлением к раствору вещества, понижающего растворимость выделяемой соли;
- 5) кристаллизация вымораживанием (применяется преимущественно для выделения отдельных компонентов из естественных рассолов);
- 6) кристаллизация в результате химической реакции (этим путем, например, в коксо-химическом производстве в больших масштабах получают кристаллический сульфат аммония при кристаллизации растворов серной кислоты аммиаком, содержащимся в коксовом газе);

7) сублимация кристаллизация из пересыщенной паровой фазы, в процессе которой продукт переходит в твердое состояние из парообразного, минуя жидкую фазу и некоторые другие виды кристаллизации, имеющие узкую область применения.

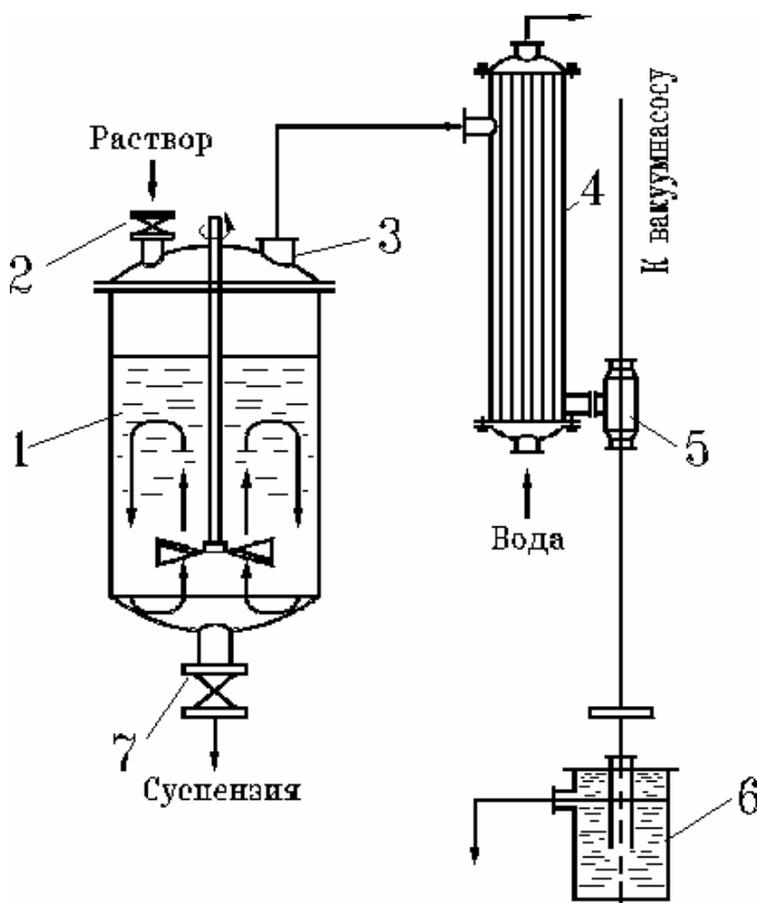
Классификация кристаллизационного оборудования

Кристаллизационное оборудование может быть классифицировано по ряду признаков классификации следующим образом.

1. По способу работы аппаратов:
 - 1) аппараты периодического действия;
 - 2) аппараты непрерывного действия.
2. По размеру получаемых кристаллов:
 - 1) с регулируемым ростом кристаллов;
 - 2) с нерегулируемым ростом кристаллов.
3. По способу выгрузки кристаллов из аппарата:
 - 1) с гидравлической классификацией;
 - 2) без классификации.
4. По способу охлаждения раствора:
 - 1) охлаждаемые воздухом;
 - 2) вакуум-кристаллизационные аппараты.
5. По способу создания пересыщения: 1) аппараты для изогидрической кристаллизации (с охлаждением раствора); 2) аппараты для изотермической кристаллизации (с удалением растворителя); 3) вакуум-аппараты; 4) аппараты с созданием пересыщения высаливанием; 5) аппараты с созданием пересыщения в результате химической реакции и т.д. Классификация по последнему признаку наиболее распространена.

Вакуум-кристаллизаторы

При небольшой производительности используют аппараты периодического действия (рисунки 83).



Такой аппарат представляет собой герметичный реакционный сосуд 1 с мешалкой, соединенный через поверхностный конденсатор 4 с вакуум-насосом. Через штуцер 2 в кристаллизатор примерно на 2/3 его объема заливается горячий исходный 7 раствор и включается вакуум-насос. По мере понижения давления в аппарате раствор вскипает и вследствие испарения части растворителя охлаждается до температуры насыщения при данном давлении. Образующиеся пары удаляются через штуцер 3 и конденсируются в теплообменнике 4, из которого неконденсирующиеся газы удаляются через брызгоуловитель 5 при помощи вакуум-насоса. Конденсат отводится в гидрозатвор 6. Продукты после отключения вакуум-насоса выводят из аппарата. Из-за высокого пересыщения при кристаллизации раствора получают мелкокристаллический продукт, а на внутренней поверхности аппарата, особенно в зоне кипения, образуются наросты соли.

При перемешивании кристалли-

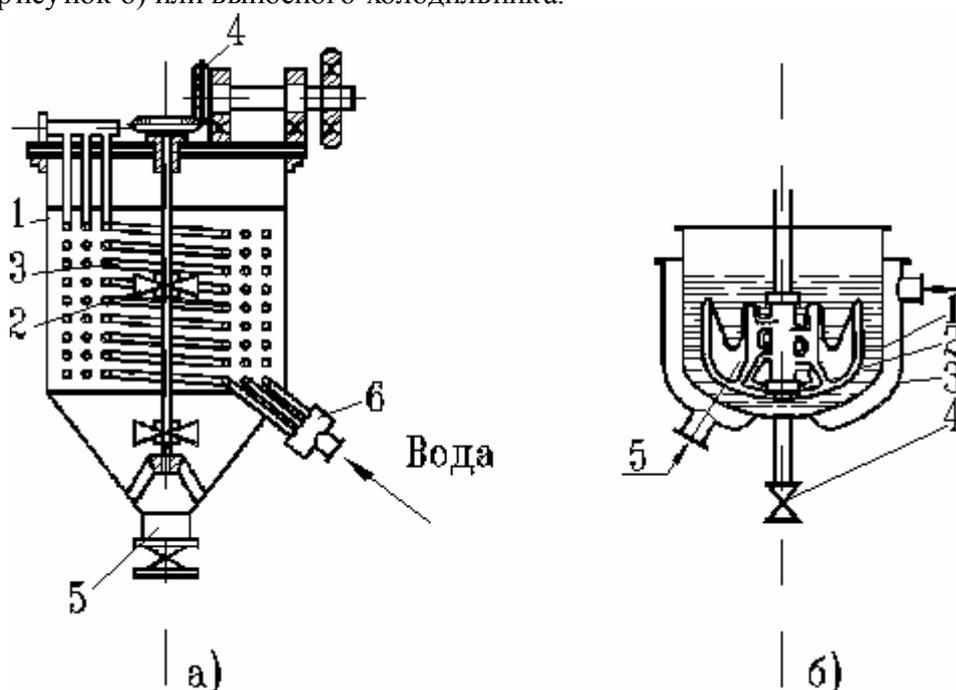
зующегося раствора устраняется дузовый рост кристаллов на стенках аппарата и обеспечивается полное снятие пересыщения раствора.

Изогидрические кристаллизаторы

Для проведения процесса кристаллизации солей, растворимость которых значительно уменьшается с понижением температуры, применяют изогидрические кристаллизаторы. Раствор в них охлаждается при постоянном количестве растворителя до температуры ниже температуры насыщения. В результате охлаждения раствор становится пересыщенным, что приводит к возникновению процесса кристаллизации.

Кристаллизаторы с водяным охлаждением

В таких аппаратах охлаждение раствора производится при помощи змеевика (рисунок а), рубашки (рисунок б) или выносного холодильника.



а) со встроенным змеевиком: 1 - корпус; 2 - змеевик; 3 - мешалка; 4 - привод; 5 - разгрузочное устройство; 6 - штуцера для ввода и вывода охлаждающей воды; б) с охлаждающей рубашкой: 1 - корпус; 2 - мешалка; 3 - охлаждающая рубашка; 4 - разгрузочное устройство; 5 - штуцер для подачи охлаждающей воды.

Рисунок – Кристаллизаторы с водяным охлаждением.

В таких аппаратах может проходить как периодический, так и непрерывный процесс кристаллизации.

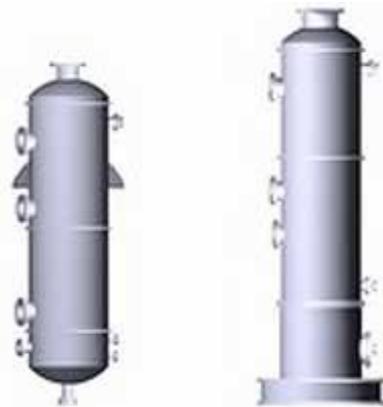
В непрерывно действующем аппарате отвод маточного раствора осуществляется сверху. Верхняя часть аппарата выполняется конической, чтобы уменьшить скорость движения раствора, циркулирующим под действием мешалки, и, следовательно, уменьшить опасность уноса мелких кристаллов с маточным раствором. Кристаллы выводятся через нижний штуцер.

МАССООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Колонные аппараты применяют для процессов ректификации, абсорбции, мокрой очистки газов для некоторых химических процессов, т.е. для процессов взаимодействия между жидкой и газовой фазой. Обеспечение хорошего контакта между жидкостью и газом (паром) достигается за счет применения устройств, заставляющих газ многократно барботировать через жидкость; применения насадки, по которой стекает жидкость, смываемая газом; распыления жидкости в потоке газа, а также за счет использования центробежной силы. В соответствии со способом обеспечения

контакта между жидкостью и газом различают барботажные (тарельчатые), насадочные, распылительные колонны аппараты механического типа.

Жидкость и газ, как правило, движутся противотоком, хотя имеются аппараты, в которых осуществляется прямоточное движение. Выбор типа колонного аппарата определяется условиями процесса, расходами жидкости и газа, давлением, температурой, коррозионными свойствами продуктов, наличием загрязнений и т.д. Обычно для процессов ректификации применяют тарельчатые колонны, а для абсорбции – насадочные. Основные элементы тарельчатых а насадочных колонн нормализованы. Нестандартные колонные аппараты используют сравнительно редко.



Высоту и диаметр колонных аппаратов определяют на основании технологических, тепловых и гидродинамических расчетов. Обычно они представляют собой вертикальные устройства большой высоты и сравнительно малого диаметра. Колонны имеют круглую форму. Ректификационные и абсорбционные установки, как правило, представляют собой сложные агрегаты, в которых колонна связана с рядом вспомогательных аппаратов: кубами, кипятилниками, различными теплообменниками, сепараторами и т.д.

Колонны больших размеров обычно устанавливают под открытым небом. Трубопроводы, обслуживающие площадки и вспомогательное оборудование, крепятся, как правило, к корпусу колонны. На верхнюю площадку крепят кран – укосину для монтажных и ремонтных работ.

На колоннах монтируют много контрольно–измерительных приборов для измерения давления, температуры, состава смеси и т.д. На линиях ввода и вывода жидкости на колонны обязательно устанавливают гидравлические затворы, препятствующие проходу газа через жидкостные патрубки. Затворы выполняют в виде U – образных участков трубопроводов или поперечных перегородок перед штуцерами. Колонны работают обычно при атмосферном давлении, вакуумные и под повышенным давлением менее распространены.

Температурные пределы применения колонных аппаратов довольно велики: от – 190⁰ в установках глубокого холода, до 350 - 400⁰ С.

Классификация колонных аппаратов

Определяющей характеристикой массообменной аппаратуры является состояние межфазной поверхности. В соответствии с этим в основу классификации аппаратуры, предназначенной для проведения процессов массопередачи, положен принцип образования межфазной поверхности. Диффузионные аппараты классифицируются на группы: 1) аппараты с фиксированной поверхностью фазового контакта; 2) аппараты с поверхностью контакта, образуемой в процессе движения потоков, 3) аппараты с внешним подводом энергии.

В соответствии с приведенной классификацией наиболее типичные широко применяемые в промышленности аппараты распределяются по группам, указанным в табл.8.1.

Конструкции массообменных аппаратов предъявляются следующие основные требования: дешевизна, простота в обслуживании, высокая производительность, максимально развитая поверхность контакта между фазами и эффективность передачи массы вещества из одной фазы в другую, устойчивость режима в широком диапазоне нагрузок, максимальная пропускная способность по паровой (газовой) и жидкой фазе, минимальное гидравлическое сопротивление, прочность конструкции и долговечность.

Массообменные аппараты также подразделяют:

- I Аппараты с фиксированной поверхностью
- II Аппараты с поверхностью, образуемой в процессе движения фаз
- III Аппараты с внешним подводом энергии.

Тарельчатые колонны

Конструкции и тарельчатых колонн весьма разнообразны (рисунок). Это объясняется чрезвычайно большим ассортиментом перерабатываемого сырья, широким диапазоном производительности и различным гидравлическим режимом колонн. В качестве конструкционного материала для изготовления колонных аппаратов наиболее широко применяют углеродистую и кислотоустойчивую сталь. В некоторых случаях по условиям коррозии и очистки тарелок целесообразно использовать чугун. Колонны из цветных металлов выполняются реже. В настоящее время осваиваются тарельчатые колонны из неметаллических материалов керамики, графита, фторопласта и т.д.

1 - куб колонны; 2 - колонна.

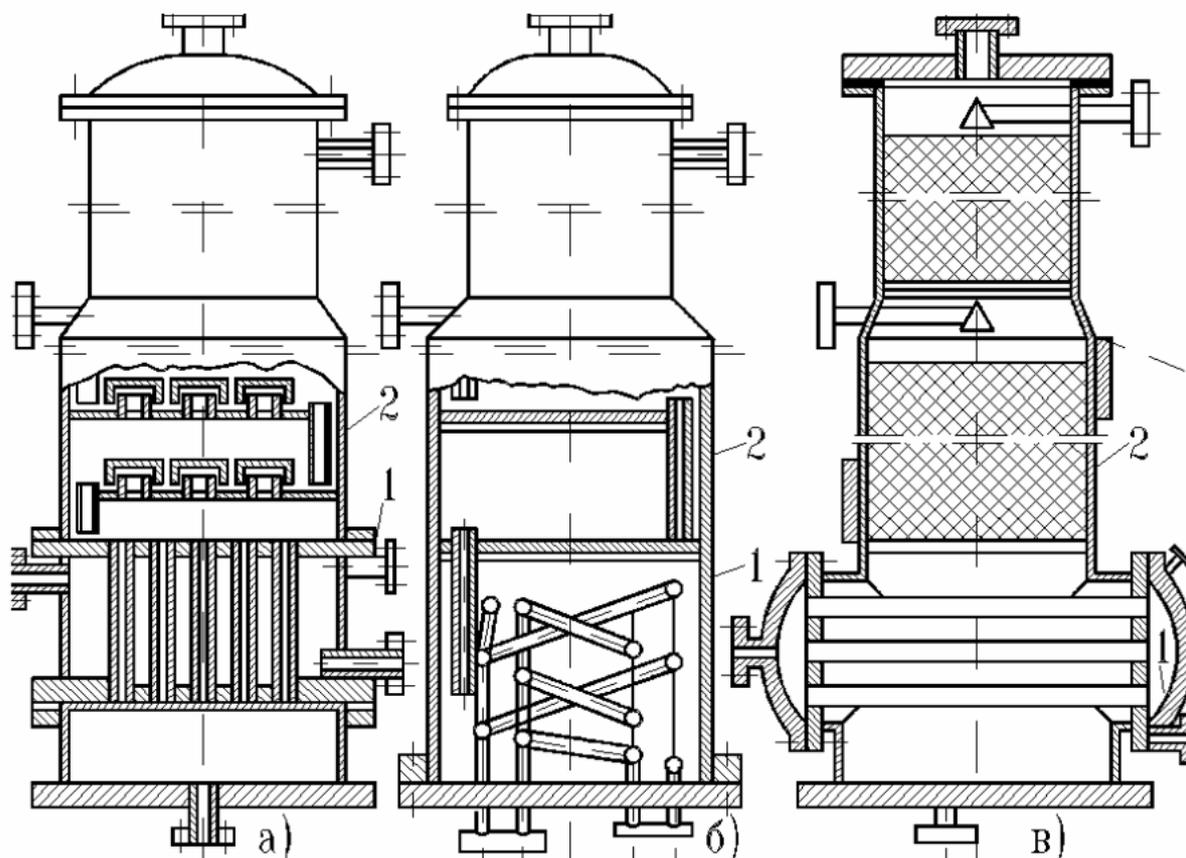


Рисунок - Типовые конструкции а) копачковая; б) ситчатая; в) насадочная.

В химической и нефтеперерабатывающей промышленности находят применение тарельчатые колонны различных размеров: от небольших диаметром 300 - 400 мм до крупнотоннажных высокопроизводительных установок с колоннами диаметром 5, 8 и даже 12 м. Высота колонны зависит от числа тарелок и расстояния между ними. Чем меньше расстояние, тем ниже колонна, однако при уменьшении расстояния между тарелками увеличивается унос брызг и возникает опасность переброса жидкости с нижних тарелок на верхние, что существенно уменьшает к.п.д. установки. Поэтому расстояние между тарелками обычно не принимают менее 200 - 300 мм. По соображениям конструктивного порядка и возможности ремонта и очистки тарелок расстояния между ними принимают по табл.

Кипятильники в ректификационных установках малой производительности делают в виде змеевиков, установленных непосредственно в кубе, но более часто кипятильник монтируют в виде выносного теплообменника, который устанавливается вертикально около куба и связан с ним двумя патрубками. Колонны периодического действия имеют кубы большой емкости, достаточной для приема единовременной загрузки продукта. В колоннах непрерывного действия не нужен большой объем кубовой жидкости, и кубом в них является нижняя часть колонны высотой 1 - 1,5 м.

К тарелкам предъявляются следующие требования: они должны иметь высокий к.п.д. (обеспечивать хороший контакт между жидкостью и паром), обладать малым гидравлическим сопротивлением, устойчиво работать при значительном колебании расходов пара и жидкости. Та-

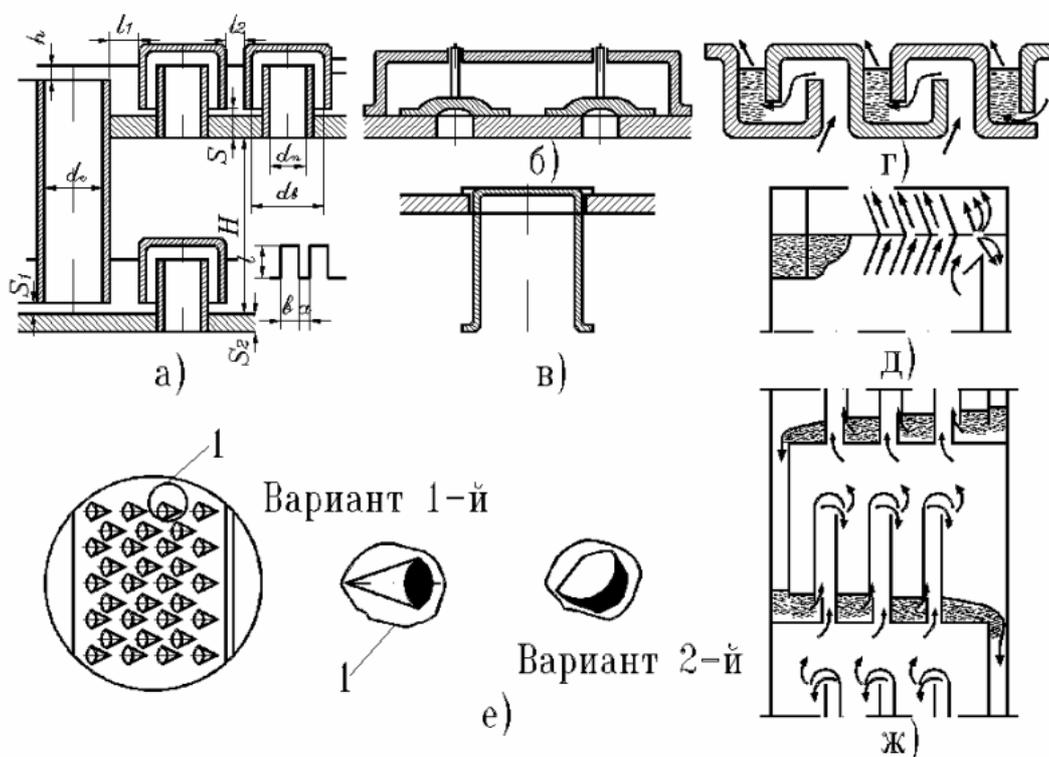
релки должны быть просты по конструкции, удобны в эксплуатации, иметь малый вес и быть нечувствительными к различным осадкам и отложениям, что особенно важно при работе с загрязненными жидкостями. Наибольшее применение находят колпачковые, ситчатые и клапанные тарелки.

В ректификационных и абсорбционных колоннах, применяемых в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, используют несколько типов тарелок, область применения которых зависит главным образом от нагрузок по пару и жидкости и от их физических свойств.

В общем случае можно считать, что вакуумные колонны характеризуются малыми нагрузками по жидкости (малые объемные расходы жидкости); атмосферные колонны — умеренными нагрузками по пару и жидкости; колонны, работающие под давлением — малыми нагрузками по пару и большими по жидкости. Особенно велики нагрузки по жидкости в абсорберах и десорберах.

Необходимость применения тарелок различных типов диктуется также спецификой и особенностями работы нефтеперерабатывающих и газобензиновых заводов, например, производительностью различных связанных между собой установок, которая зависит не только от количества исходного сырья, но и от его состава.

Колпачковые тарелки (рисунок) наиболее часто применяют в ректификационных установках. Конструктивная схема устройства колпачка и обозначения основных размеров приведены на рисунке а.



а) колпачковая; б) клапанная с верхним ограничителем подъема; в) клапанная с нижним ограничителем подъема; г) из S - образных элементов; д) пластинчатая; е) чешуйчатая; ж) прямоточная.

Рисунок - Конструкции тарелок.

Пары с предыдущей тарелки попадают в паровые патрубки колпачков и барботируют через слой жидкости, в которую частично погружены колпачки. Колпачки имеют отверстия или зубчатые прорезы, расчленяющие пар на мелкие струйки для увеличения поверхности его соприкосновения с жидкостью. Переливные трубки служат для подвода и отвода жидкости и регулирования ее уровня на тарелке. Основной областью массообмена и теплообмена между парами и жидкостью, как показали исследования, является слой пены и брызг над тарелкой, создающийся в результате барботажка пара. Высота этого слоя зависит от размеров колпачков, глубины их погружения, скорости пара, толщины слоя жидкости на тарелке, физических свойств жидкости и др. Рас-

чет основных размеров колпачков и некоторые рекомендации изложены в методике расчета тарельчатых колпачковые колонн.

Следует отметить, что, кроме колпачковых тарелок, применяют также клапанные, желобочные, S-образные, чешуйчатые, провальные и другие конструкции и тарелок. В расчетах необходимо учитывать особенности конструкций тарелок.

Тарелки, собранные из S-образных элементов (рисунок в), обеспечивают движение пара и гладкости в одном направлении, способствуя выравниванию концентрации жидкости на тарелке. Площадь живого сечения на тарелке составляет 12 - 20 % от площади сечения колонны. Коробчатое поперечное сечение элемента создает значительную жесткость, позволяющую устанавливать его на опорное кольцо без промежуточных опор в колоннах диаметром до 4,5 м.

Чешуйчатые тарелки (рисунок е) подают пар в направлении потока жидкости. Они работают наиболее эффективно при струйном режиме, возникающем при скорости пара в чешуях свыше 12 м/с. Площадь живого сечения составляет 10 % площади сечения колонны. Чешуи бывают арочными (рисунок е вариант первый) и лепестковые (рисунок е вариант второй), их располагают в тарелке в шахматном порядке. Простота конструкции, эффективность и большая производительность преимуществ этих тарелок.

Пластинчатые тарелки (рисунок д) собраны из отдельных пластин расположенных под углом 4 - 90 к горизонту. В зазорах между пластинами проходит пар со скоростью 20 - 50 м/с. Над пластинами установлены отбойные щитки, уменьшающие брызгоунос. Эти тарелки отличаются большой производительностью, малым сопротивлением и простотой конструкции.

Насадочные колонны

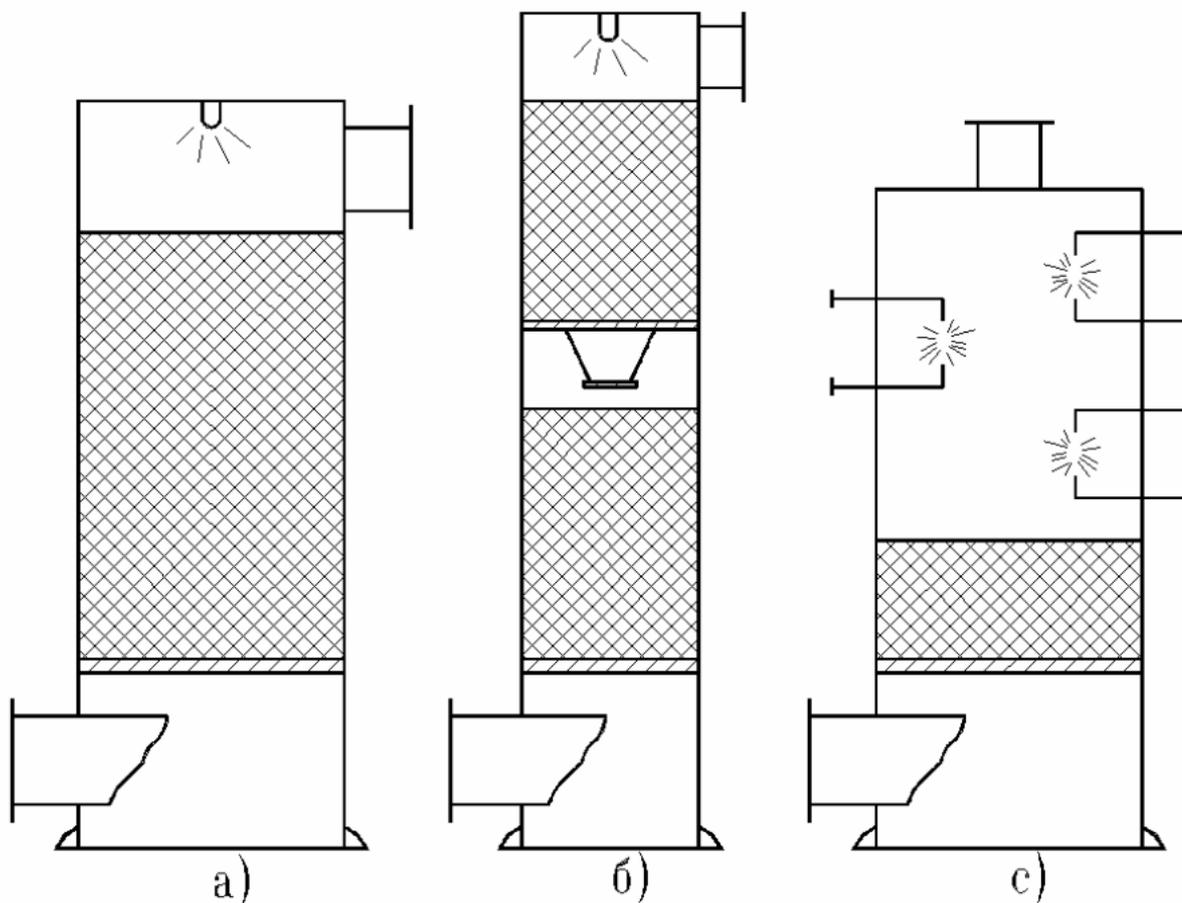
Насадочные колонны широко применяют для процессов абсорбции, а также очистки, охлаждения и увлажнения газов. Некоторое применение они находят и для процессов ректификации. Насадочные колонны удовлетворительно работают только при обильном и равномерном орошении насадки жидкостью. Различается два основных режима работы аппаратов:

1. Пленочный режим, при котором жидкость, омываемая газом, стекает по элементам насадки.

2. Эмульгационный режим, когда весь аппарат заполнен жидкостью, а через слой ее между элементами насадки барботирует газ.

К основным элементам насадочных колонн относятся: насадка, устройства для орошения и распределения жидкости, опорные колосники и другие устройства, поддерживающие слой насадки. По способу расположения насадки по высоте аппарата колонны подразделяют на полностью насаженные (рисунок а), разделенные на секции (рисунок б) и частично насаженные (рисунок в).

Полностью насаженные колонны с насадкой, загружаемой навалом, имеют обычно высоту слоя насадки не более $H = (6 \div 8) \cdot D$. Дальнейшее увеличение высоты слоя насадки ограничивается тем обстоятельством, что жидкость стекающая по беспорядочно загруженной насадке, имеет тенденцию перемещаться к периферии, в результате чего часть насадки остается несмоченной. Когда требуется высота слоя более $(6 - 8) D$, насадку в аппарате располагают отдельными слоями (секциями). После каждого слоя жидкость собирают и с помощью распределительных устройств равномерно орошают нижний слой насади. Общая высота колонны с насадкой, разделенной на секции, может достигать 30 - 40 м. Колонны, частично загруженные, имеют над слоем насадки значительное свободное пространство, в котором жидкость реагирует с газом в распыленном состоянии.



а) колонна полностью насаженная; б) колонна с насадкой, разделенной на секции; в) колонна частично насаженная.

Рисунок - Типы насадочных колонн.

Выбор насадок

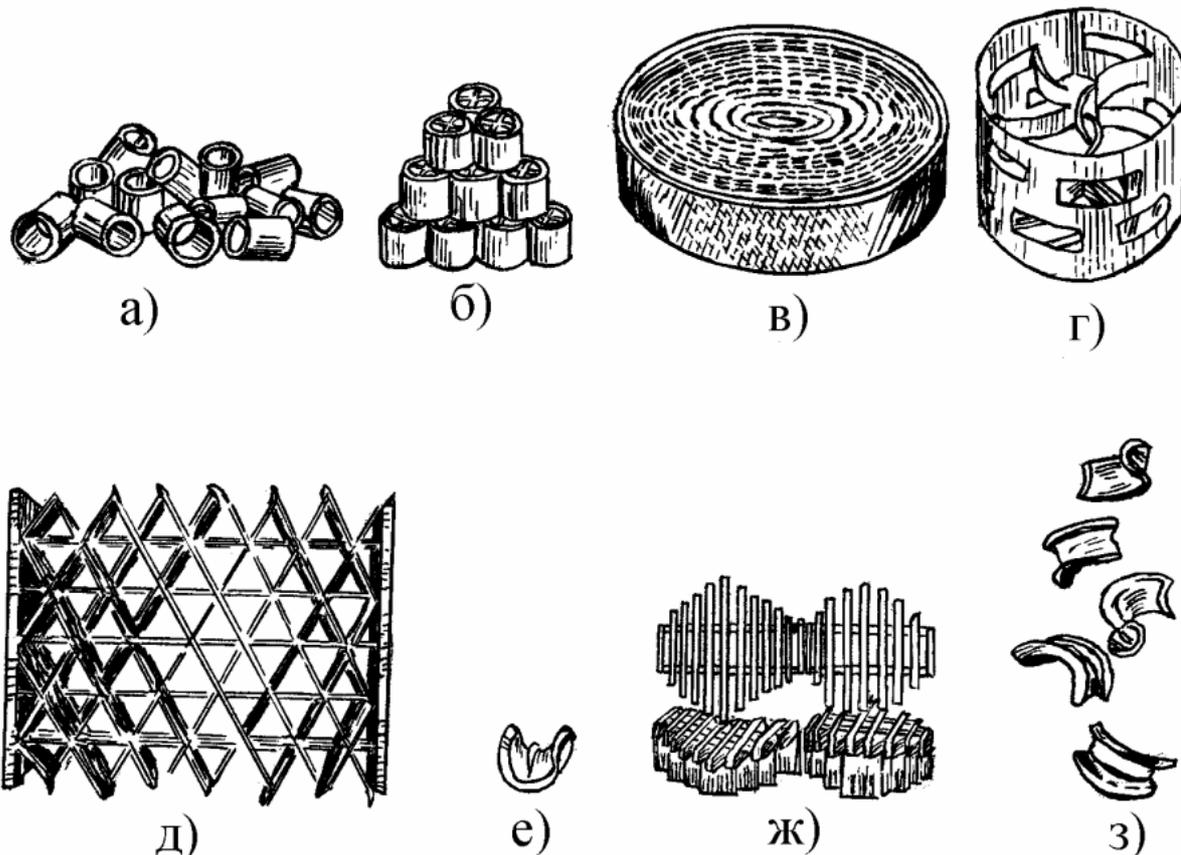
Для того, чтобы насадка работала эффективно, она должна удовлетворять следующим основным требованиям: 1) обладать большой поверхностью в единице объеме; 2) хорошо смачиваться орошающей жидкостью; 3) оказывать малое гидравлическое сопротивление газовому потоку; 4) равномерно распределять орошающую жидкость; б) быть стойкой к химическому воздействию жидкости и газа, движущихся в колонне; б) иметь малый удельный вес; 7) обладать высокой механической прочностью; 8) иметь невысокую стоимость.



Насадок, полностью удовлетворяющих всем указанным требованиям, не существует, так как, например, увеличение удельной поверхности насадки влечет за собой увеличение гидравлического сопротивления аппарата и снижение предельных нагрузок. В промышленности применяют разнообразные по форме и размерам насадки (рисунок), которые в той



или иной мере удовлетворяют требованиям, являющимся основными при проведении конкретного процесса абсорбции. Насадки, изготавливают из различных материалов (керамика, фарфор, сталь, пластмассы и др.), выбор которых диктуется величиной удельной поверхности насадки, смачиваемостью и коррозионной стойкостью.



а) кольца Рашига, беспорядочно уложенные (навалом); б) кольца с перегородками, правильно уложенные; в) насадка Гудлое; г) кольца Паля; д) насадка “Спрейпак”; е) седла Берля; ж) хордовая насадка; з) седла “Инталлокс”.

Рисунок - Типы насадок.

В качестве насадки используют также засыпаемые навалом в колонну куски кокса или кварца размерами 25 - 100 мм. Однако вследствие ряда недостатков (малая удельная поверхность, высокое гидравлическое сопротивление и т.д.) кусковую насадку в настоящее время применяют редко.

Широко распространена насадка в виде тонкостенных керамических колец, равной диаметру (кольца Рашига), который изменяется в пределах 15 - 150 мм. Кольца малых размеров засыпают в абсорбер навалом (рисунок а). Большие кольца (размером не менее 50x50 мм) укладывают правильными рядами, сдвинутыми друг относительно друга (рисунок б). Этот способ заполнения аппарата насадкой называют загрузкой в укладку, а загруженную таким способом насадку – регулярной. Регулярная насадка имеет ряд преимуществ перед нерегулярной, засыпанной в абсорбер навалом: обладает меньшим гидравлическим сопротивлением, допускает большие скорости газа. Однако для улучшения смачивания регулярных насадок необходимо применять более сложные по конструкции оросителя. Хордовая деревянная насадка (рисунок ж) обычно используется в абсорберах, имеющих значительный диаметр. Основное ее достоинство – простота изготовления, недостатки – относительно небольшая удельная поверхность и малый свободный объем.

За последние годы стали применяться спиральные насадки, выполненные из металлических лент и проволоки, различные металлические сетчатые насадки (рисунок д), а также насадка из стеклянного волокна.

При выборе размеров насадки следует учитывать, что чем больше размеры ее элемента, тем выше допустимая скорость газа (и соответственно производительность абсорбера) и ниже ее гидравлическое сопротивление. Общая стоимость абсорбера с насадкой из элементов больших размеров будет ниже за счет уменьшения диаметра аппарата, несмотря на то, что его высота несколько увеличивается по сравнению с высотой аппарата, имеющего насадку меньших размеров (вследствие снижения величины удельной поверхности насадки и интенсивности массопередачи).

Мелкая насадка предпочтительнее также при проведении процесса абсорбции под повышенным давлением, так как в этом случае гидравлическое сопротивление абсорбера не имеет существенного значения. Кроме того, мелкая насадка, обладающая большей удельной поверхностью, имеет преимущества перед крупной тогда, когда для осуществления процесса абсорбции необходимо большое число единиц переноса или теоретических ступеней изменения концентраций.

Основными достоинствами насадочных колонн являются: простота устройства и низкое гидравлическое сопротивление. Недостатки: трудность отвода тепла и плохая смачиваемость насадки при низких плотностях орошения. Отвод тепла из этих аппаратов и улучшение смачиваемости достигается путем рециркуляции абсорбента, что усложняет и удорожает абсорбционную установку. Для проведения одного и того же процесса требуются насадочные колонны обычно большего объема, чем барботажные.

Насадочные колонны мало пригодны при работе с загрязненными жидкостями. Для таких жидкостей в последнее время стали применять абсорберы с "плавающей" насадкой. В этих абсорберах в качестве насадки используют главным образом легкие полые или сплошные пластмассовые шары, которые при достаточно высоких скоростях газа переходят во взвешенное состояние.

В абсорберах с "плавающей" насадкой допустимы более высокие скорости газа, чем в абсорберах с неподвижной насадкой. При этом увеличение скорости газа приводит к большему расширению слоя шаров, и, следовательно, к незначительному увеличению гидравлического сопротивления аппарата.

Общая схема расчета колонных аппаратов

Целью расчета массообменного аппарата является определение конструктивных размеров, т.е. высоты и диаметра колонны, гидромеханических и экономических показателей ее работы.

Расчет диффузионного аппарата рекомендуется проводить в такой последовательности.

Для расчета задано:

- 1) тип аппарата;
- 2) разделяемая смесь и поглотитель (абсорбент, экстрагент или растворитель, адсорбент);
- 3) производительность;
- 4) концентрации компонентов на входе и выходе из аппарата.

Требуется определить:

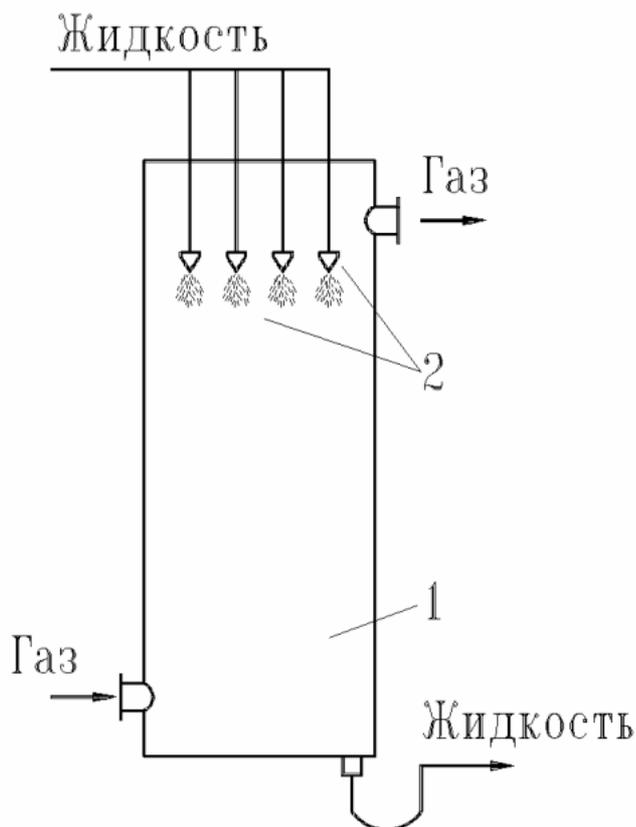
- 1) физические параметры смеси;
- 2) расход поглотителя или веса чистых компонентов (уравнение материального баланса);
- 3) движущую силу процесса;
- 4) коэффициенты массоотдачи и массопередачи;
- 5) построить кривую равновесия, рабочую линию и число ступеней изменения концентрации;
- 6) поверхность фазового контакта и конструктивные размеры;
- 7) количество подводимого или отводимого тепла (тепловой баланс);
- 8) гидродинамическое сопротивление аппарата;
- 9) механическую прочность и устойчивость;
- 10) экономические показатели работы колонны.

Распыливающие (распылительные) аппараты

Противоточный распыливающий абсорбер

В аппаратах этого типа тесный контакт между фазами достигается путем распыливания или разбрызгивания различными способами жидкости в газовом потоке.

Полый распыливающий абсорбер (рисунок) представляет собой колонну, в верхней части корпуса 1 которой имеются форсунки 2 для распыливания жидкости (главным образом механические). В распыливающих абсорберах объемные коэффициенты массопередачи быстро снижаются по мере удаления от форсунок вследствие коалесценции капель и уменьшения поверхности фазо-



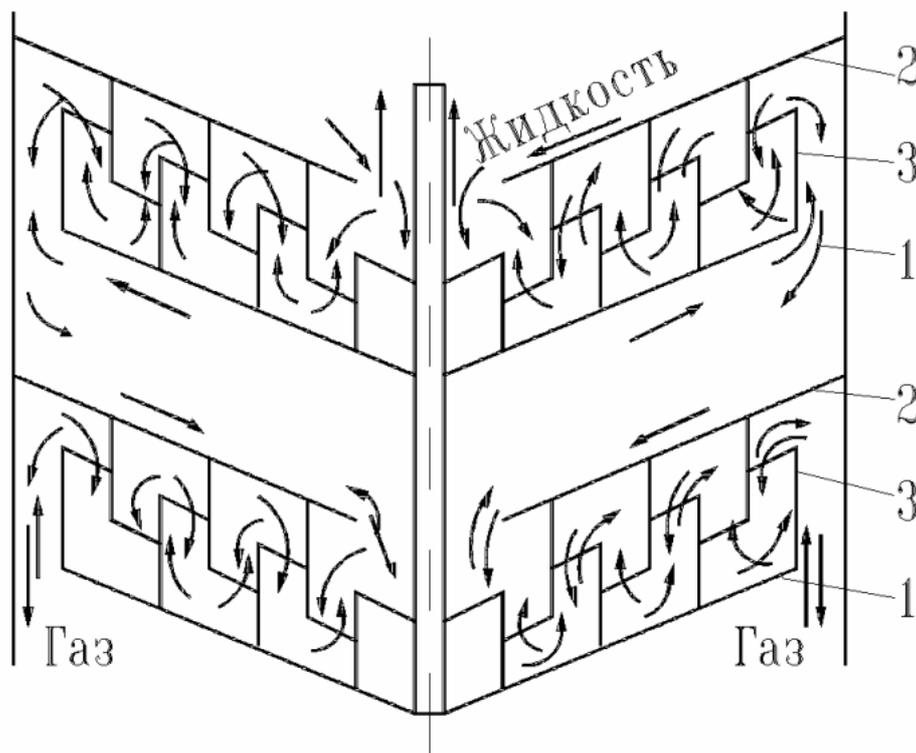
вого контакта. Поэтому оросители (форсунки) в этих аппаратах обычно устанавливают на нескольких уровнях.

К достоинствам полых распыливающих абсорберов относятся: простота устройства, низкое гидравлическое сопротивление, возможность работы с загрязненными газами, легкость осмотра, очистки и ремонта. Недостатки этих аппаратов: невысокая эффективность, значительный расход энергии на распыливание жидкости, трудность работы с загрязненными жидкостями, необходимость подачи больших количеств абсорбента для увеличения количества капель и соответственно поверхности контакта фаз, низкие допустимые скорости газа, значения которых ограничены уносом капель жидкости.

Распыливающие абсорберы применяются главным образом для поглощения хорошо растворимых газов, так как вследствие высокой относительной скорости фаз и турбулизации газового потока коэффициенты массоотдачи в газовой фазе в этих аппаратах достаточно высоки.

Роторный центробежный абсорбер

На рисунок представлена схема роторного центробежного абсорбера с вертикальным вращающимся валом. В этом аппарате вращающиеся тарелки 1, укрепленные на валу, чередуются с неподвижными тарелками 2, которые крепятся к корпусу колонны. Тарелки 1 снабжены кольцевыми вертикальными ребрами 3, а тарелки 2 – коаксиальными ребрами. При таком устройстве между вращающимися и неподвижными тарелками образуются кольцевые каналы. Жидкость поступает в центральную часть колонны и под действием центробежной силы разбрызгивается кромкой вращающегося ребра. Капли пролетают пространство, заполненное газом, и ударяются о стенку соответствующего ребра не-



подвижной тарелки. Таким образом при движении жидкости от центра к периферии тарелки происходит многократное контактирование фаз.

Достоинства: механических абсорберов – компактнее и эффективнее распыливающих абсорберов других типов.

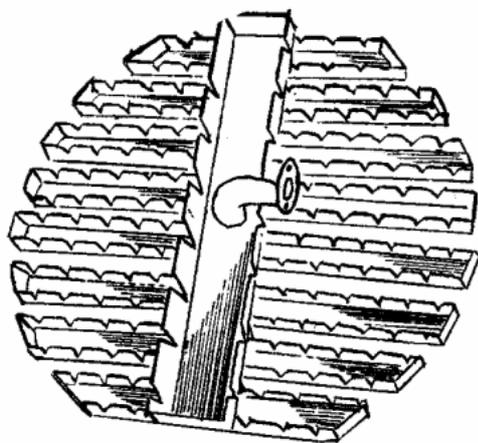
Недостатки: сложнее по устройству и требуют больших затрат энергии на осуществление процесса.

Во многих случаях в система газ–жидкость для диспергирования одной фазы в другой оказывается достаточным использование энергии потока газа, взаимодействующего с жидкостью, и подвод внешней энергии для этой цели нецелесообразен.

Распределительные устройства для жидкости и пара

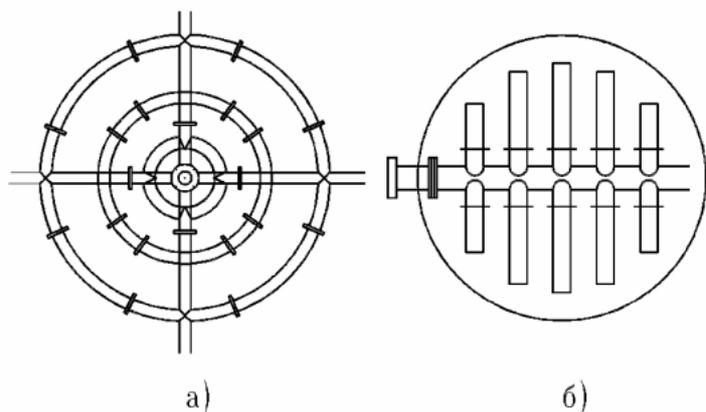
Весьма важным узлом в колоннах с тарелками провального типа и с насадкой является распределительное устройство для жидкости.

Наиболее часто применяют следующие конструкции распределительных устройств, обеспечивающих неплохое распределение жидкости по сечению аппаратов различного диаметра: распределительные тарелки, желоба, коллекторы, отражатели, и центробежные устройства.



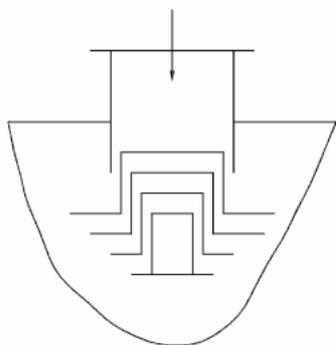
Распределительные тарелки имеют патрубки для прохода паров и ниппели для стока жидкости. Для того, чтобы пар проходил только через патрубки, их делают выше, чем ниппели, и сверху защищают от стекающей жидкости козырьками. При небольших расходах жидкости ниппели имеют боковой срез или прорези. Такая конструкция менее чувствительна к отклонению тарелки от горизонтального положения. Распределительные тарелки применяются для орошения насадочных колонн, главным образом с кольцами Рашига, при небольшом изменении жидкостных нагрузок. Применяют их так же, как и перераспределительные тарелки, в колоннах с тарелками провального типа и с насадкой.

Распределители из желобов довольно просты по конструкции (рисунок), но требуют особой тщательной установки в колоннах большого диаметра.



Часто в качестве распределителей пара и жидкости применяют перфорированные трубы, конструктивно выполненные либо в виде паука, либо в виде коллектора (рисунок). Основным их недостатком является то, что они склонны к засорению, и поэтому применяются только на чистых продуктах. Кроме того, трубчатые распределители работают равномерно лишь тогда, когда для заданного хода и напора пара или жидкости правильно выбрана площадь перфорации. В частности, для распределителей пара, находящихся в жидкости, рекомендуется принимать площадь отверстий, равную 25 % от площади поперечного сечения трубы, а отверстия для выхода пара располагать вдоль нижней образующей трубы. Для жидкости распределители из труб применяют в случае, если необходимо иметь около распределителей большое свободное сечение для прохода пара (до 50 %).

Отражательные распределители могут (рисунок) с успехом применяться как для парового, так и для жидкостного потоков. Они отличаются простотой конструкции и высокой производительностью, мало засоряются и обеспечивают равномерное распределение потока даже в аппаратах сравнительно большого диаметра. Ширина кольцевых каналов в распределителе должна быть равна 8 - 10 мм.



Распределители центробежного типа применяют только химической промышленности, например, сернокислотных башен; здесь они не рассматриваются.

При конструировании распределителей количество орошающих точек принимается в соответствии с расчетом или в зависимости от диаметра колонны.

Когда штуцер вывода пара из аппарата расположен выше распределителя жидкости, около него необходимо иметь достаточную площадь для прохода паров: при насадке из колец Рашига – 30 %, из седел Инталлокс – 60 % и из колец Паля – 65 % от сечения колонны.

Реакторы в химической промышленности

Все аппараты, входящие в технологическую схему могут быть инерционные, тепловые, диффузионные;

По протекающим процессам они разделяются на 2 группы:

а) аппараты, в которых осуществляются физические процессы (механические, гидроаэродинамические);

б) аппараты, в которых осуществляются химические процессы (реакторы).

Аппараты 1-ой группы составляют большую часть технологического оборудования химической промышленности, но играют второстепенную роль (подготовка сырья, разделение готового продукта). Главная задача – получение нового вещества путём проведения химической реакции.

Видов химических реакций очень много, поэтому велико и разнообразие конструкций реакторов (для каждого вещества – своя конструкция). Типовое оборудование создать почти невозможно.

Основные факторы, определяющие конструкцию реактора

а) Вид химической реакции (сульфирование, окисление, крекинг, каталитические процессы, полимеризация, и т.д.). Влияет на материал реактора и на конструкцию.

б) Агрегатное состояние веществ, вступающих и получаемых в результате реакции, оказывает решающее влияние на конструкцию аппарата.

в) Способ перемешивания реагентов – определяет время протекания реакции за счёт создания большой поверхности и её обновления. Определяют конструкцию реактора и его размеры.

г) t и p в реакторе определяют качество получаемой продукции и часто её вид.

Если конверсию окиси углерода в присутствии водорода проводить при следующих условиях, то можно получить следующие продукты:



д) Тепловой эффект реакции. Почти все химические реакции протекают с выделением или поглощением тепла. Если температура мало влияет на скорость реакции, то выделившееся тепло можно отводить вместе с реагентами за счёт их нагрева или охлаждения в специальном теплообменнике. В этом случае реактор очень прост по конструкции – обычный сосуд или труба. Но такой вариант пригоден только для реакторов непрерывного действия. Чаще всего реакторы изотермические, адиабатические, с регулируемой или программируемой температурой, снабжаются теплообменными устройствами для подвода или отвода тепла в виде рубашек, змеевиков, различных теплообменных устройств. Очень часто размеры реактора в этом случае определяются необходимой поверхностью теплообмена.

е) Периодичность или непрерывность проведения процесса. В реакторах периодического действия все процессы проводятся последовательно в одном аппарате: смешение, нагрев, проведе-

ние реакции, охлаждение, иногда разделение продуктов, их выгрузка. В непрерывных реакторах все эти операции проводятся одновременно на разных участках аппарата или в отдельных аппаратах.

Реакторы непрерывного действия имеют следующие достоинства:

- значительно большая производительность;
- постоянство всех параметров процесса во времени в какой-то точке (t , состав, расход веществ).

К недостаткам данных реакторов следует отнести следующие:

- аппараты сложнее и больше по количеству;
- требуют надежной системы автоматического контроля и регулирования всех параметров;
- сложно регулировать и контролировать состав продуктов, часто нет измерительных устройств.

Область применения непрерывных процессов: системы Г-Г, Г-Ж, то есть в тех случаях, когда легко осуществить непрерывный контроль.

Область применения периодических процессов: системы Ж-Ж, Ж-Тв, когда трудно проводить постоянный контроль.

Реакторы для систем Г – Г

Это наиболее простая система. В результате таких процессов получается газообразный продукт.

Газы легко смешиваются в любых соотношениях, коэффициент диффузии газов очень большой и принимает значения приблизительно в 10^4 раз превышающие значения коэффициентов диффузии для жидкостей, поэтому реакции в такой системе протекают практически мгновенно. Размеры реакторов в данном случае определяются только допустимой скоростью движения газов. Обычно это сосуд прямоугольной формы или в виде трубы.

Такого типа реакции протекают с выделением большого количества тепла, из-за малой теплоемкости газов температура может чрезмерно увеличиваться и вызывать разрушение стенок аппарата или нежелательное направление реакции.

Если увеличение температуры допустимо с точки зрения химизма реакции, то в данном случае достаточно просто защитить стенки аппарата футеровкой.

В некоторых случаях допускается лишь кратковременный нагрев газа (доли секунды), так как при длительном нагреве реакция может пойти в обратном направлении. В таком случае реактор имеет вид короткой трубы.

Реакторы для систем Г–Г–К

Конструкция таких аппаратов определяется рядом факторов:

- 1) необходимость отвода тепла;
- 2) механическая прочность катализатора;
- 3) срок службы катализатора и его стойкость.

Отвод тепла в таких процессах необходим в тех случаях, если при протекании реакции выделяется большое количество тепла. При этом с ростом температуры скорость химической реакции также возрастает. Без обеспечения отвода тепла в аппарате может произойти взрыв или сгорание катализатора. Примером таких аппаратов может послужить реактор для синтеза аммиака, реакторы синтеза высших спиртов.

Отвод тепла также необходим и в тех случаях, когда реакция должна протекать в строго определенном температурном интервале. Большую роль для поддержания качественных показателей готовой продукции в данном случае играет автоматическое управление процессом, для реализации которого необходимо иметь алгоритм управления, то есть математическое описание процесса.

В тех случаях, когда отвод тепла не требуется, конструкция реакторов довольно проста. Реакторы представляют собой емкости, заполненные катализатором.

Размеры таких реакторов определяются из условий допустимой скорости контактирующих фаз

Высота реактора определяется из условий динамики процесса или времени реакции, или значения скорости принимается из условий максимально возможной, которая обычно ограничивается критической скоростью.

При небольших производительностях и при высоких давлениях реактор выполняется в виде теплообменника типа «труба в трубе». В этих реакторах первый участок обогревается для обеспечения прохождения реакции, а второй охлаждается, стабилизируя температурный режим. Малый диаметр аппарата обеспечивает возможность работы при высоких давлениях.

При невысоких давлениях (до 1 МПа) и средних производительностях реактор представляет собой кожухотрубный теплообменник, трубное пространство которого заполнено катализатором, а в межтрубное пространство подается теплоноситель.

В случае высоких производительностей и высоких технологических параметров (температура и давление) применяются специальные теплообменные устройства (например колонна синтеза аммиака).

Очень важным является распределение температур. Чем больше разность между кривыми на диаграмме, тем легче поддерживать температуру, но при этом увеличивается расход энергии и съем тепла. Чем меньше разность температур ΔT , тем меньше расход энергии, больше выход продукта, но труднее регулирование, то есть больше неустойчивость процесса. Следует выбрать оптимальный режим.

Скорость газа в реакторах с неподвижным слоем катализатора очень небольшая. Перспективным является применение движущегося слоя. При этом скорость можно резко увеличить, уменьшить сопротивление, соответственно резко увеличить производительность, одновременно уменьшить размеры реактора.

Однако у кипящего слоя есть недостатки: повышенное истирание катализатора, высокая стоимость, необходимость добавлять новый катализатор, а в условиях высокого давления это сделать сложно. Пыль загрязняет газы и последующую аппаратуру. Эти недостатки до настоящего времени препятствуют внедрению аппаратов с кипящим слоем. Основной задачей на данный момент является получение высокопрочного катализатора.

Реакторы для систем Г–Тв

В системах газ- твердое получают газ и остатки твердого. Например доменные печи, обжиг известняка, сернистого колчедана, коксование и другие. В основном это процессы окисления или восстановления.

Самая древняя конструкция – периодическая печь с неподвижным слоем – в настоящее время почти не применяется. Осталось одно направление применения – коксование.

Печь с движущимся слоем (доменная, обжиг известняка).

Вращающаяся барабанная печь – получение цемента.

Печь с движущимся слоем и перемешиванием при помощи скребков – обжиг сернистого колчедана.

Наиболее современными являются реакторы с кипящим слоем. В данном случае повышенное истирание является положительным, так как чем меньше частицы, тем лучше протекает массообменный. Однако в кипящем слое образуется много мелкого огарка, из-за чего приходится ставить сложную систему очистки технологических газов.

Перспективными являются печи объемного горения или циклонные печи.

Реакторы для систем Г – Ж

Принципиально не отличаются от массообменных аппаратов, разница только в необходимости подвода или отвода тепла. Применяются следующие виды аппаратов : плёночные, барботажные, распылительные, центробежные и другие.

Реакторы для систем Ж – Ж или Ж – Тв с небольшим содержанием Тв

Если жидкости взаиморастворимы друг в друге , то применяется реактор в виде трубы – смесителя. Если жидкости нерастворимы друг в друге, а также присутствуют твердые вещества

или газ, то обычно аппарат представляет собой сосуд, внутри которого располагается перемешивающее устройство.

Для стабилизации температурного режима ёмкости снабжаются рубашками или внутренними теплообменными устройствами.

Реакторы для систем Тв – Тв или Ж – Тв с малым содержанием Ж

Это большая группа аппаратов, применяемых в производстве пластмасс и керамических изделий, в процессах полимеризации.

Основные типы машин:

1. Прессы.
2. Автоклавы.
3. Печи (туннельные, конвейерные).

Расчёт реакторов периодического действия

Основная задача расчёта – определение размеров (объёма, поверхности теплообмена) и количества реакторов при заданной производительности.

Суточная производительность V_c , м³/сутки, равна:

$$V_c = \frac{24 \cdot V_{\text{загр}} \cdot n}{\tau_{\text{ц}}}$$

где n – количество реакторов работающих одновременно;

$\tau_{\text{ц}}$ – время цикла;

$V_{\text{загр}}$ – объём загрузки, м³.

Объём реактора принимают больше объёма загрузки:

$$V_{\text{загр}} = V_p \cdot \beta$$

где V_p – объём реактора;

β – коэффициент заполнения любого аппарата периодического действия.

При любых расчётах производительность принимают с запасом с учётом ошибки в расчётах, возможное увеличение производительности, остановок для ремонта и т.д.

$$V'_c = V_c \cdot (1 + z)$$

где z – коэффициент запаса.

Рекомендуемые значения z :

- простые аппараты без внутренних устройств, $z = 0,05 \div 0,1$;
- аппараты с внутренними устройствами, но без вращающихся частей (трубчатые, насадочные, тарельчатые и т.д.), $z = 0,1 \div 0,15$;
- аппараты с вращающимися устройствами, работающие в агрессивных средах, при высоких температурах и давлении, $z = 0,15 \div 0,2$.

Объём аппарата принимают из условий экономичности из имеющихся стандартных типов, возможности изготовления, перевозки и вероятностей аварийных остановок.

Например, дешевле изготовить 2 больших аппарата, чем 4 малых; по железной дороге нельзя перевозить аппараты диаметром более 3,2 м; если вероятность длительной остановки велика, то нельзя устанавливать 1 аппарат, надо иметь резерв.

Окончательная формула для определения числа реакторов:

$$n = \frac{V_c \cdot (1 + z) \cdot \tau_{\text{ц}}}{24 \cdot V_p \cdot \beta}$$

В этой формуле всё известно, кроме $\tau_{ц}$. Оно складывается из времени реакции, нагрева, охлаждения, загрузки, выгрузки и т.д.

$$\tau_{ц} = \tau_{р-ции} + \tau_{нагр.} + \tau_{охл.} + \tau_{заг} + \tau_{выгр} + \tau_{разд}$$

где $\tau_{нагр.} + \tau_{охл.} + \tau_{заг} + \tau_{выгр} + \tau_{разд}$ – вспомогательные процессы.

Определение $\tau_{заг}$ и $\tau_{выгр}$.

Оно зависит от способа выгрузки / загрузки:

$$\tau_{загр.} = \frac{V_{загр.}}{V_{насоса}} = \frac{V_p \cdot \beta}{V_{насоса}}$$

выгр.

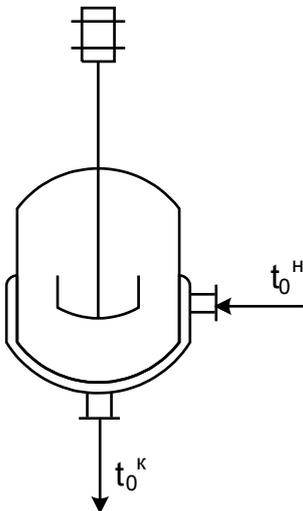
где $V_{насоса}$ – производительность насоса.

Одновременно рассчитываем размеры штуцеров и трубопроводов.

Определение $\tau_{нагр}$ и $\tau_{охл.}$.

Во всех аппаратах периодического действия процесс неустановившийся, поэтому для определения τ надо составить и решить систему ДУ.

Самый простой случай – нагрев паром при постоянной температуре теплоносителя.



$$t_0^H = t_0^K = t_{п} = \text{const}$$

$$dQ = kF \cdot (t_{п} - t) \cdot d\tau \quad (1)$$

$$dQ = (V_p \cdot \rho_{ж} \cdot c_{ж} + G_{ап} \cdot c_{ап}) \cdot dt \quad (2)$$

Приравниваем (1) и (2) уравнение и проинтегрируем.

$$\int_{t_{п}}^{t_0^K} \frac{A}{k \cdot F} \cdot \frac{dt}{(t_{п} - t)} = \int_0^{\tau_{нагр}} d\tau$$

$$\tau_{нагр} = \frac{A}{k \cdot F} \cdot \ln \frac{t_{п} - t_0^H}{t_{п} - t_0^K}$$

где t_0^K – конечная температура в реакторе.

Если нагрев или охлаждение происходит жидкостью или газом, то температура теплоносителя переменна и вместо $t_{п}$ надо подставить среднее значение $\frac{t_0^H - t_0^K}{2}$ в уравнение (1), но t_0^K – величина переменная, поэтому составляют 3-е ДУ.

$$dQ = V_{ж} \cdot \rho_{ж} \cdot c_{ж} (t_0^H - t_0^K) \cdot d\tau \quad (3)$$

Приравнивая (1) и (3) находят t_0^K , далее его подставляют в (1). Решая совместно (1) и (2), находят τ . Эти решения приближённые, т.к. надо учитывать потери тепла в окружающую среду и тепло реакции, которое выделяется при подогреве.

Определение $\tau_{р-ции}$

$\tau_{р-ции}$ зависит от ряда факторов (t , p , интенсивности перемешивания, свойств смеси и т.д.). Одним из основных факторов, влияющих на $\tau_{р-ции}$, являются разность концентраций и температура, поэтому в расчётах обычно считают, что $\tau_{р-ции} = f(x, T)$

Для изотермических реакций она зависит от концентрации:

$$\tau_{р-ции} = k \cdot f(x)$$

$$k = k_0 \cdot e^{-E/RT}$$

Скорость химической реакции зависит от порядка реакции.

На практике для реакций произвольного порядка $\tau_{p-ции}$ определяется по кинетическим кривым, приводимым в справочной литературе.

Отвод или подвод тепла во время реакции

Количество тепла, выделяемого во время реакции равно изменению массы вещества на тепловой эффект реакции:

$$dQ = dx \cdot q = \frac{V_p \cdot \beta \cdot \rho}{\mu} \cdot q \cdot dx$$

Обычно в расчётах нужно проверить, обеспечивает ли данная теплообменная поверхность отвод тепла при максимальном тепловыделении.

$$Q = \frac{dQ}{d\tau} = A_0 \cdot \frac{dx}{d\tau}$$

$\frac{dx}{d\tau}$ – скорость химической реакции, которая определяется по кинетической кривой.

Для определения максимального количества выделяющегося тепла (при максимальной скорости реакции), на кинетической кривой находят участок с максимальным углом наклона, т.е. максимальное $\frac{\Delta x}{\Delta \tau}$ и графически находят Δx и $\Delta \tau$

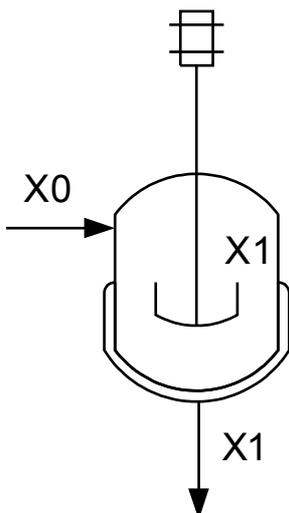
После определения максимального количества выделяющегося тепла, находим необходимую поверхность теплообмена. Поверхность теплообмена находим из условий оптимального времени разогрева (охлаждения) и условий отвода тепла, при максимальном тепловыделении принимают большее из полученных значений с учётом конструктивных возможностей. Если принимается другая поверхность, то делается проверочный расчёт. Далее определяется расход теплоносителя.

В процессе реакции Q изменяется, поэтому расход теплоносителя должен быть переменным. В реакторах как правило требуется автоматическое регулирование температуры ($t = \text{const}$). Термометр измеряет температуру. Его сигнал сравнивается с заданным и регулятор воздействует на расход теплоносителя при помощи задвижки. Таким образом регулятор компенсирует все ошибки в расчетах, но только в том случае если поверхность теплообмена достаточна, а трубопроводы пропускают необходимый расход теплоносителя.

Расчет реактора непрерывного действия

Реакторы непрерывного действия можно разделить на два вида:

- 1) Реакторы идеального смешения – концентрация в каждый момент времени постоянна и одинакова во всех точках аппарата.
- 2) Реакторы идеального вытеснения – концентрация вещества изменяется по длине или высоте аппарата.



Внешне такие аппараты похожи на аппараты периодического действия, однако методика их расчета принципиально отличается. Так как процесс непрерывный, то возникает такая проблема, как разное время пребывания.

Для реакторов идеального смешения $\tau_{p-ции}$ может быть определено как:

$$\tau_{p-ции} = \frac{V_1}{V_{сек}}$$

где V_1 – объём вещества в реакторе;
 $V_{сек}$ – расход вещества через реактор.

С другой стороны очевидно, что скорость химической реакции может быть определена, как изменение концентрации деленное на скорость химической реакции, которая определяется по кинетической кривой:

$$\tau_{\text{р-ции}} = \frac{x_0 - x_1}{\frac{dx}{d\tau}}$$

Тогда объём реактора будет равен:

$$V_1 = V_{\text{сек}} \cdot \left(\frac{x_0 - x_1}{\frac{dx_1}{d\tau}} \right)$$

С учётом β и z объём реактора равен:

$$V_p = V_1 \cdot \left(\frac{1+z}{\beta} \right)$$

Таким образом τ – это среднее вероятностное время пребывания. Фактическое время пребывания определяется вероятностной кривой распределения (Гаусса) и зависит от интенсивности перемешивания и конструкции реактора. Фактическая скорость реакции в реакторе идеального смешения не совпадает со скоростью реакции периодического аппарата, а она обычно меньше. Для сравнения реакторов непрерывного и периодического действия вводится временной КПД, представляющий собой отношение $\tau_{\text{период}}$ и $\tau_{\text{непрерыв}}$

$$\eta = \frac{\tau_{\text{пер}}}{\tau_{\text{непр}}}$$

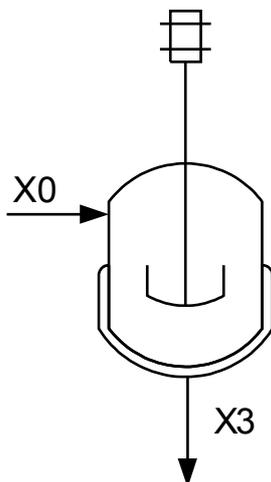
$$\tau_{\text{пер}} = \frac{1}{K_2} \cdot \frac{x_0 - x_1}{x_0 \cdot x_1}$$

$$\tau_{\text{непр}} = \frac{x_0 - x_1}{K_2 \cdot x_1^2}$$

$$\eta = \frac{x_1}{x_0}$$

Так как $x_1 < x_0$ значит $\eta < 1$ всегда. Фактически он будет еще меньше из-за неодинакового времени пребывания.

Чтобы приблизить КПД к 1 применяют каскад реакторов идеального смешения, т.е. для того чтобы уменьшить время пребывания или увеличить производительность.



$$V_{\text{общ}} = V_c \cdot \left(\frac{x_0 - x_1}{\frac{dx_1}{d\tau}} + \frac{x_1 - x_2}{\frac{dx_2}{d\tau}} + \frac{x_2 - x_3}{\frac{dx_3}{d\tau}} \right)$$

При одинаковых степенях превращения во всех реакторах $x_0 - x_1 = x_1 - x_2 = x_2 - x_3$. Каждый числитель уменьшается в три раза, т.е. в целом это не скажется на объёме реакторов, но знаменатели все уменьшаются, кроме последнего, поэтому объём каскада реакторов будет всегда меньше одноступенчатого реактора. В пределе при числе каскадов стремятся к ∞ времени реакции и объём реакторов совпадут с реактором периодического действия. Бес-

конечное число последних каскадов соответствует реактору идеального вытеснения.

$$\text{КПД}_{\text{идеал выт}} = 1$$

Для реакторов идеального вытеснения кинетическая кривая совпадает с кинетической кривой реакторов периодического действия. Но учитывая что у реакторов периодического действия есть вспомогательное время, то производительность будет меньше. То есть их применение не выгодно, но в зависимости от величины $\tau_{\text{всп}}$ производительность реакторов периодического действия может быть больше или меньше реакторов идеального смешения.

Все изложенное справедливо для однофазных (гомогенных) систем. В случае двухфазных систем подобный расчет усложняется, поэтому чаще их рассчитывают как массообменные аппараты. Коэффициент массопередачи определяется опытным путём. За движущую силу принимают разность концентрации между x и x^* (равновесной), т.е. концентрация вещества, которая может быть получена при ∞ времени пребывания.

Сушилки.

Удалять влагу можно следующими способами:

1. Механическими способами – фильтры, центрифуги, отстойники. Это самый дешевый способ, но удаляется только пов. влага.
2. Физико-механическими способами – Влага связывается химическим путем. Этот способ дорогой, редко применим.

По способу отвода тепла и материалу различают:

1. Конвективная сушилка (непосредственное соприкосновение материала с сушильным агентом).
2. Контактная (передача тепла через стенку).
3. Радиационная сушилка (передача тепла ИК лучами).
4. Высокочастотная или диэлектрическая сушилка (нагрев в поле тока высокой частоты).

Радиационная и высокочастотная сушилка обеспечивает высокое качество, но в 2,3 раза дороже конвективной. Иногда применяется комбинирование этих способов, например конвективной с радиационной, что приводит к экономии таких процессов.

Сублимационная сушилка протекает в замороженном состоянии при глубоком вакууме.

По режиму работы

1. Периодические сушилки.
2. Непрерывные сушилки.

По давлению

1. Атмосферные
2. Вакуумные

По способу нагрева

1. Паровой
2. Газовый
3. Электрический

По конструктивному признаку

1. Барбатажные сушилки
2. Камерные сушилки
3. Туннельные сушилки

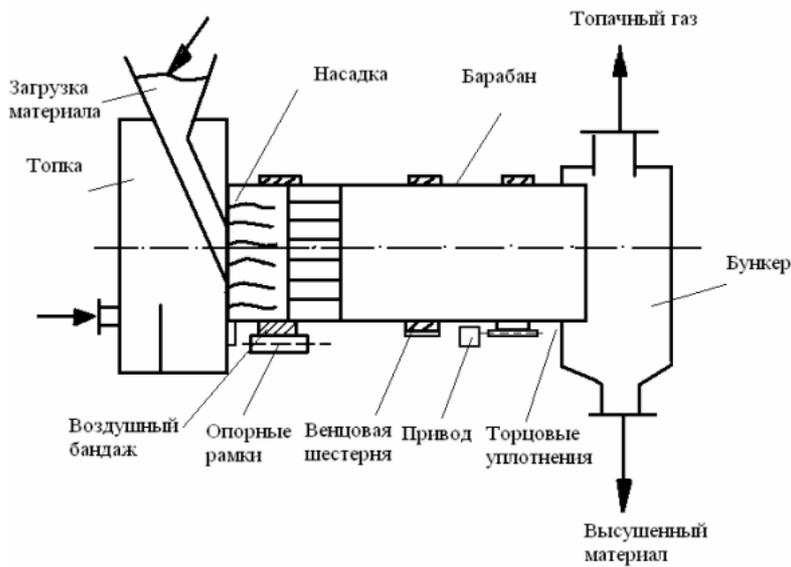
4. Ленточно-петлевые сушилки
5. Вальцовые сушилки
6. Сушилки с кипящим слоем
7. Пневматические сушилки
8. Распылительные сушилки

По взаимн. движению теплоносителей

1. С неподвижным слоем материала
2. С перекрестным движением
3. С кипящим слоем
4. С продувкой через слой

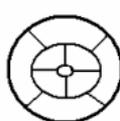
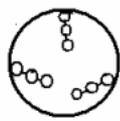
Выбор типа сушилки зависит от ряда факторов – свойств материала (термостойкость, окисляемость). При сушки суспензий используют распыление материала.

Барabanная сушилка



Насадка имеет некоторый угол наклона равный 6°

Насадки



1. Насадка
2. Цепочки
3. Хордовая
4. Лопастная

Температура на выходе должна быть выше температуры росы. На выходе температура максимальная, обусловлено термост. аппарата и материала. Скорость вращения барабана невелика 1.8 об./мин. (иначе материал прилипнет к стенке).

Барабаны сушилок нормализованы (D=1200, 1400, ...2800; L = 4,6, ...22м).

Скорость теплоносителя равна 2-3 м/с (в зависимости от высушенного материала). За счет наклона барабана, материал перемещается по сушилке по винтовой линии. За счет пересыпания материала происходит интенсификация процесса сушки. Прямоток и противоток.

С экономической точки зрения температура на выходе топочных газов должна быть максимальной и равна 600 С, а на выходе минимальной. Степень заполнения барабана достигает 20%. Иногда используется внутренняя насадка для интенсификации процесса сушки.

Расчёт сушилки

Обычно заданы: -производительность сушилки по материалу, начальная и конечная влажность, вид материала и режим сушки.

1. Выбираем теплоноситель. Режим топочных газов на входе в сушилку =600⁰С, t_{min} на выходе 80-120⁰С. Это обуславливается термочувствительностью материала, его конечной влажностью, экономическими соображениями и условиями обеспечения надёжности работы пылеулавливающих устройств. и отсутствие конденсации влаги (t точки росы).

2. Определяем из уравнений материального и теплового балансов расход воздуха на пр-с.

3. Находим общий расход (V_{общ} = V_{расх газв} + V вод. паров)

4. Определяют d барабана из ур-ия V_{общ газ} = w газа $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$

5. Определяем V барабана По теории из уравнений динамики сушки или воспользовавшись опытом проектирования для сушки аналогичных материалов. V бар = $\frac{W}{A}$ W – кол-во испарённой влаги, A – напряжённость сушилки по испарённой влаге кг/м³ (10-120).

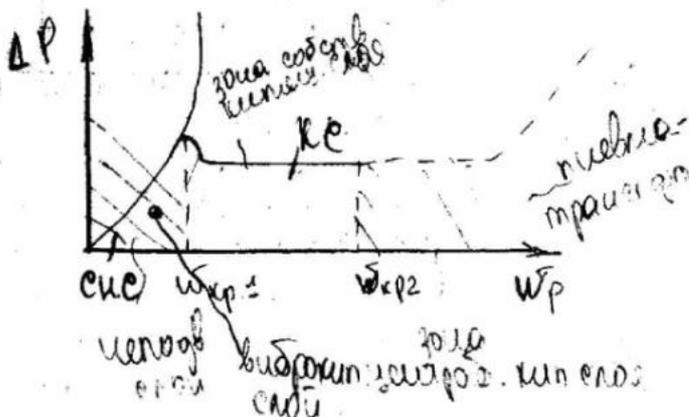
6. По нормаям выбираем размер сушилки.

7. Проверочный расчёт.

8. Гидравлический расчет с подбором вспомогательного оборудования.

Пневматические сушилки Для сушки зернистых и метал. материалов, обладающих незначительной начальной влажностью. Наилучшую интенсивность массообмена при сушке будет при продувке воздуха через слой, причём эффект массооб- на будет увеличиваться при увеличении скорости газа (воздух).

Основной недостаток СНС – малая скорость воздуха. Сушилки с зажатым слоем используют, когда гидр. сопротивление не имеет значение.

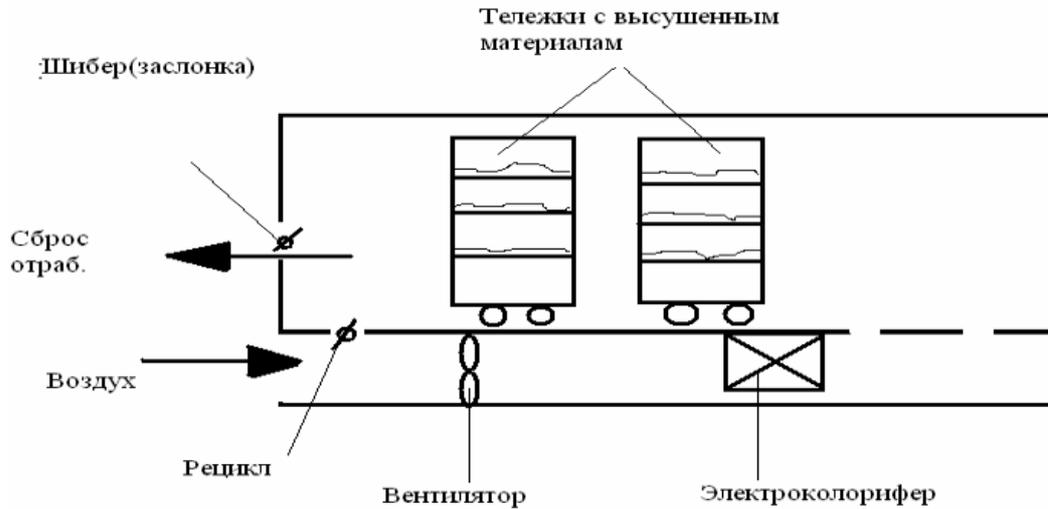


В области резкого увеличения скорости при том же ΔP сушилки работают в режиме пневмотранспорта. (-) – обычно частицы бывают разного размера, уменьшается время пребывания, более крупные частицы не успевают высохнуть, т.е. неравномерность сушки. Из-за высоких скоростей пр-с сопровождается значительным истиранием материала, образуется пыль, кроме циклонов приходится ставить фильтр – большие затраты энергии из-за большого гидравлического сопротивления.

$$\Delta P = \sum \xi \cdot \frac{\rho_r \cdot w^2}{2}; \quad \sum \xi = \sum \xi_0 \cdot (1 + k \frac{l}{g}) \quad \sum \xi_0 - \text{без тв. фразы}$$

V – массовый расход тв. фазы g – масс расход газовой фазы k – коэффициент зависящий от размера и формы частиц. В силу указанных (-) и несмотря на простоту конструкции и компактность, как правило используют в комбинации с другими сушилками.

Камерная (полочная) сушилка.



Интенсивность сушилки малая. Она периодического действия. Высушенный материал распространяется на полках, смонтированные внутри камеры.

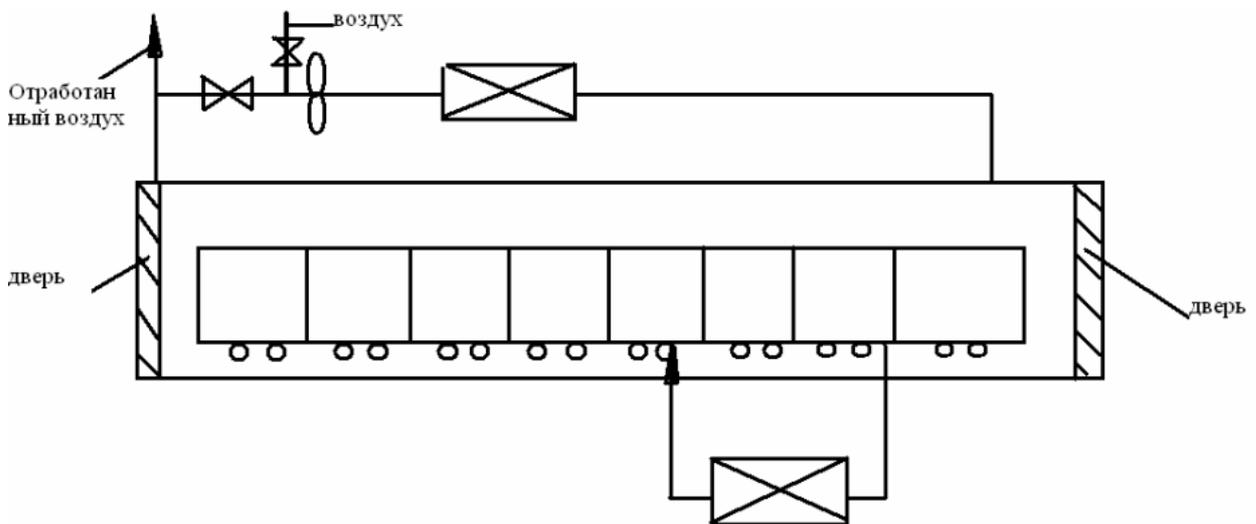
Сушильный агент перемещается над полками, над слоем высушенного материала. Для малотоннажной сушки и материалов, требующие длительный режим сушки или сложный индивидуальный нагрев

Туннельные сушилки.

Относятся к сушилкам непрерывного действия. Камеры – в виде туннеля.

Материал размещается на полках, тележках, которые периодически перемещаются вдоль туннеля. Эти сушилки могут работать при прямотоке, противотоке и перекрестном токе.

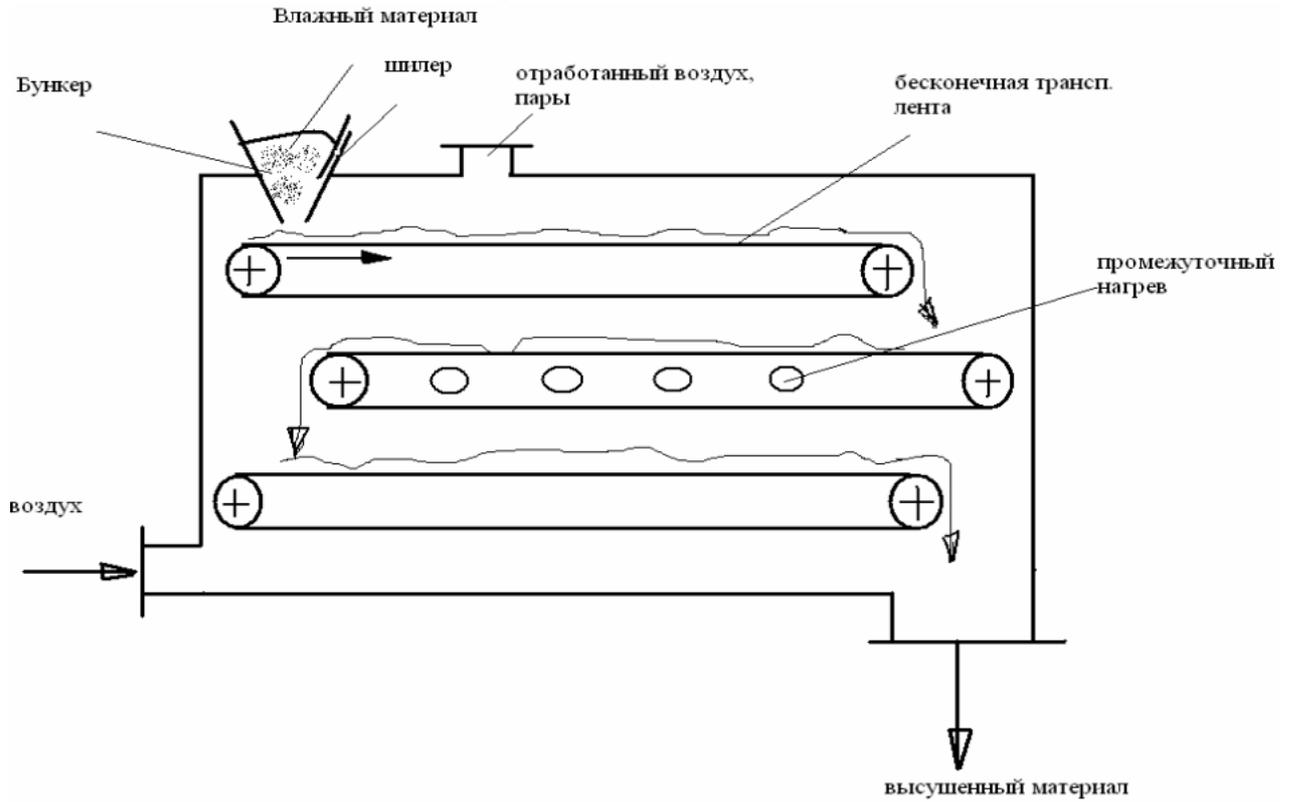
Для нетермостатических материалов необходимо осуществлять промежуточный перегрев. Теплоноситель направляется перекрестным током.



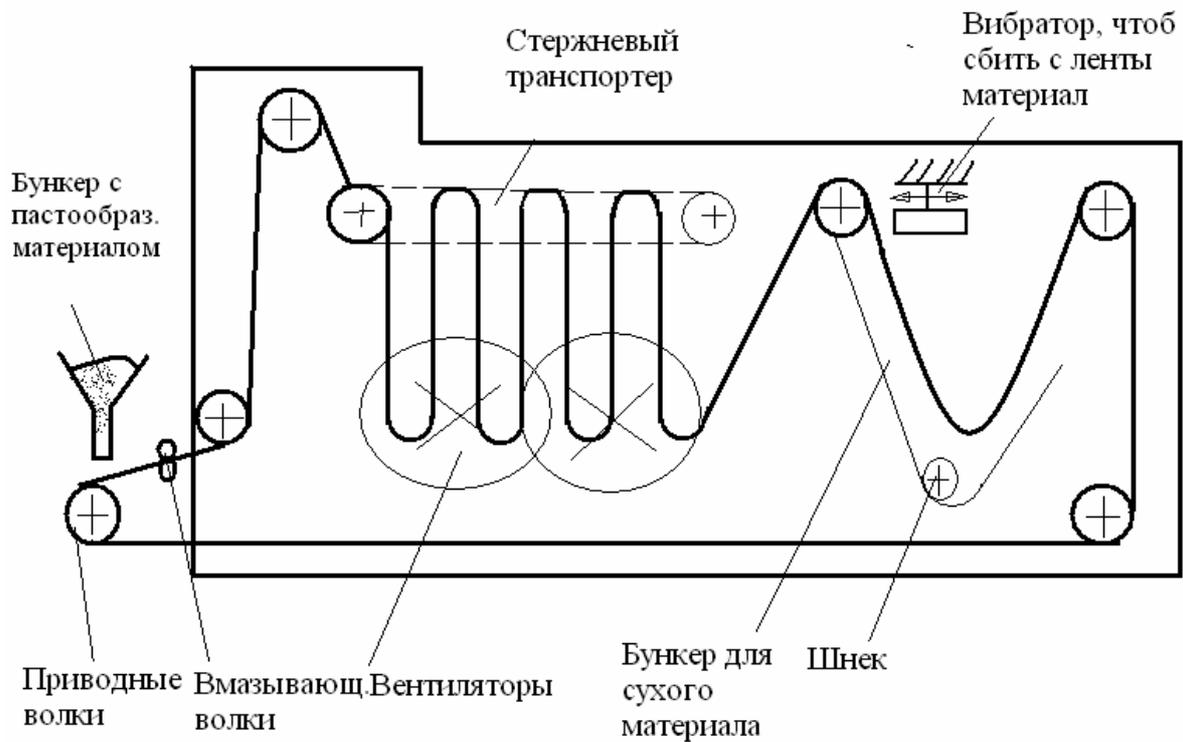
Ленточные сушилки

Сушилки непрерывного действия для сыпучих, непылевидных материалов. Интенсивность сушилки невысокая, т.к. материал практически неподвижен и плохо перемешивается. Применяется,

когда затруднено перемешивание материала. Ленты могут выполняться сплошными – резиновые, из ткани, иногда применяется пластичные ленты (в этом случае возможна продувка через материал и появляется возможность использования верхней и нижней частей ленты).



Ленточно-петлевая сушилка



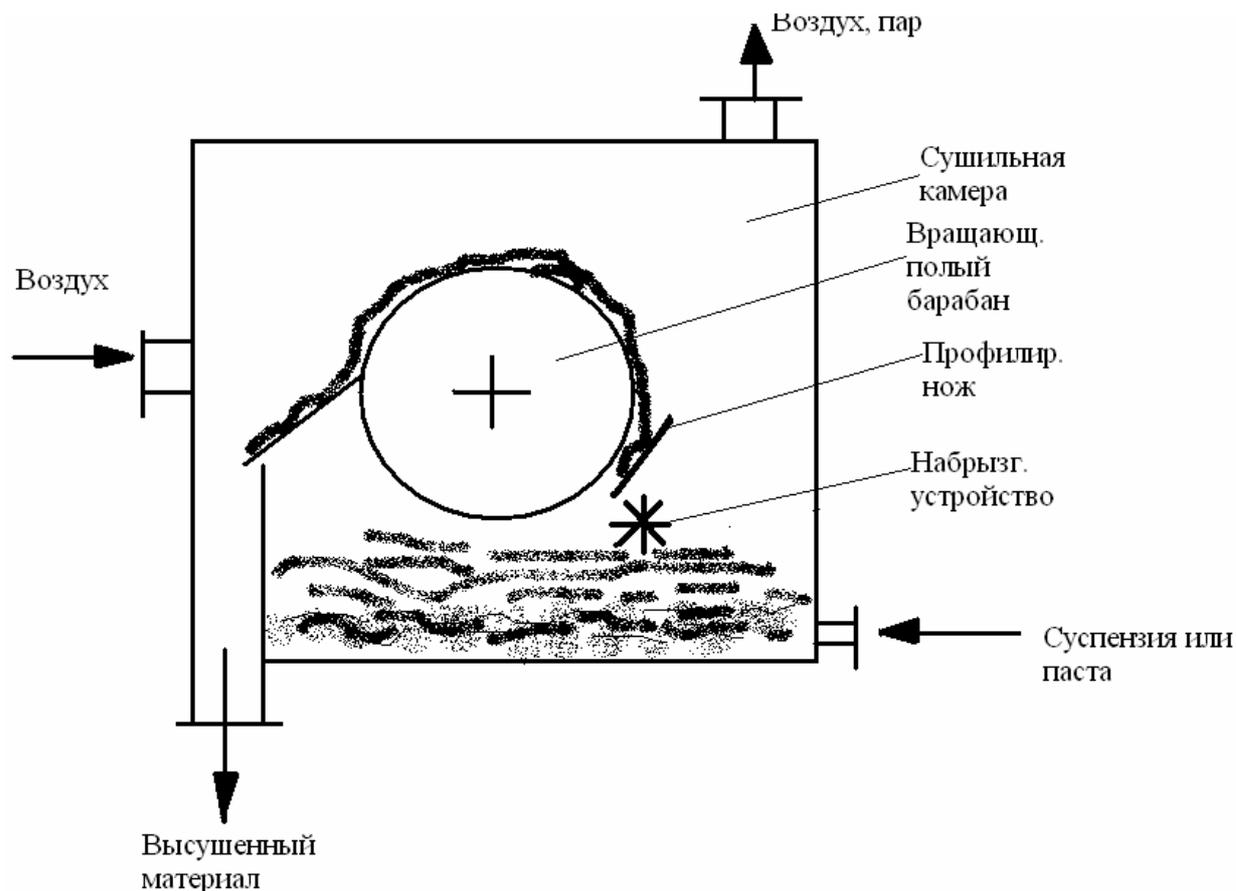
Применяется для сушки пастообразных материалов, ленточных материалов (ткани, обои). Для тонких гибких материалов (бумаж. ткани, пленки) и пастообразных материалов. Лента поступает в сушилку, образует петлю на стержнях транспортера. Толщина слоя материала 5-9 м на ней.

Достоинства: большая поверхность контакта, высокая производительность.

Недостатки: невысокая интенсивность сушки, большой расход воздуха.

Рекомендуется для большой производительности, для листовых и волокнистых материалов.

Валковые сушилки



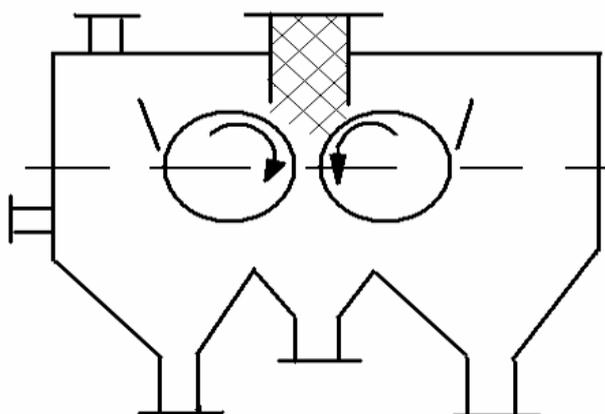
Сушилки бывают одно, двух и многовалковые, для сушки пастообразных материалов, густых суспензий, бумаги, картона, пленок, волокнистых материалов.

Недостатки: сложность изготовления сушилки.

Достоинства: высокая производительность; с единицы поверхности можно сушить материалы, чувствительны к перегреву, т.к. время пребывания материала на валке 5-10 с.

Это наиболее экономичный тип сушилки, т.к. мало потерь тепла с воздухом.

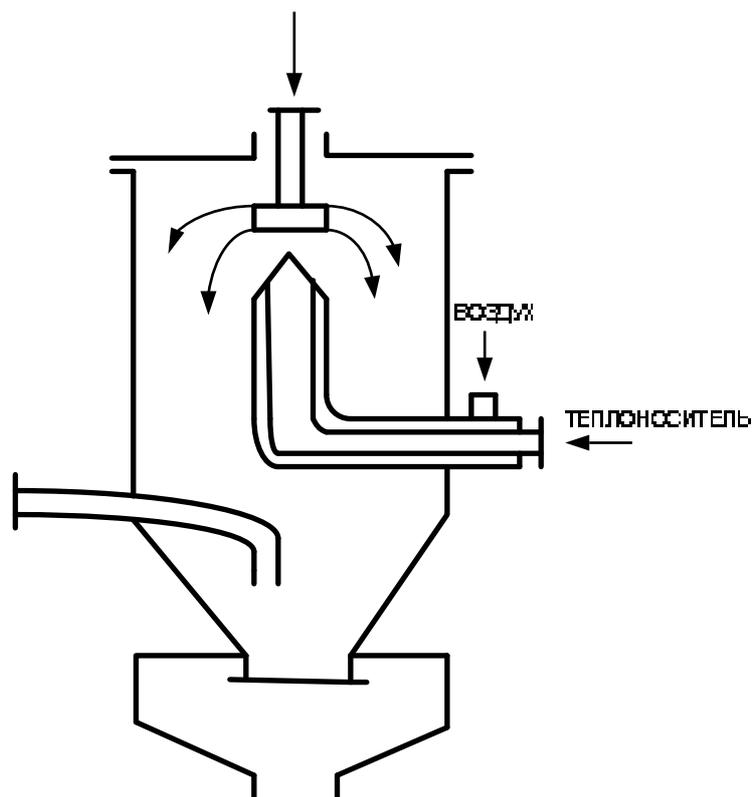
Двухвалковая сушилка



Эти сушилки используются для густых паст, $n=4-8$ об/мин, $D=80$ м, $L=1-3,6$ м. Используют такие сушилки в основном на заводах малой производительности (до 2 тонн/с. Если скорости разные, то весь материал переходит на валок с большей скоростью (где больше сопротивление).

Распылительные сушилки

Для густых суспензий и пастообразных материалов. Непрерывного действия. Высокая производительность.



Высушиваемый материал распыливается распылительным механизмом (механические форсунки, пневматические, центробежные, дисковые), расположенные сверху цилиндрической части корпуса.

При этом поверхность материала резко возрастает, подача теплоносителя осуществляется в режиме прямотока или противотока.

В условиях почти мгновенной сушки t частичек не превышает t адиабатического испарения частичек и даже выводится из процесса. Это позволяет использовать теплоноситель высокого температурного потенциала, что наряду с высокой поверхностью контакта значит интенсифицированный процесс сушки.

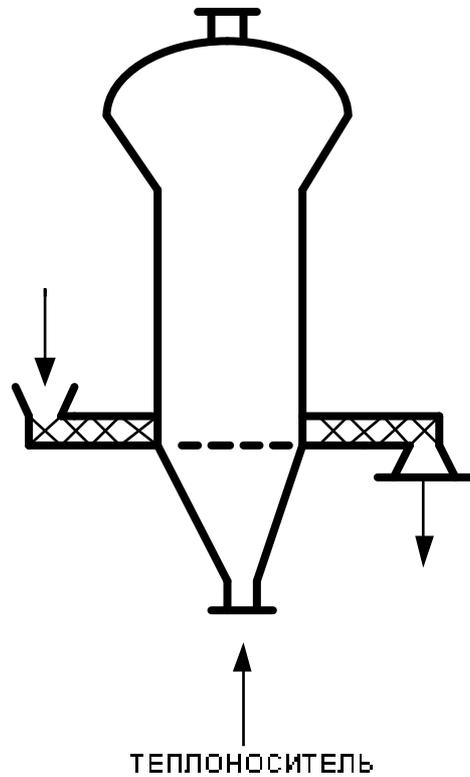
$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t$$

Применяется в крупнотоннажных производствах. Интенсивность сушки высокая.

Сушилки кипящего слоя

Сушка материала в кипящем слое получила широкое распространение благодаря специфике процесса. Используется для сушки зернистых, сыпучих, пастообразных и жидких материалов, процесс протекает очень интенсивно. В сушилках можно совмещать сразу несколько процессов:

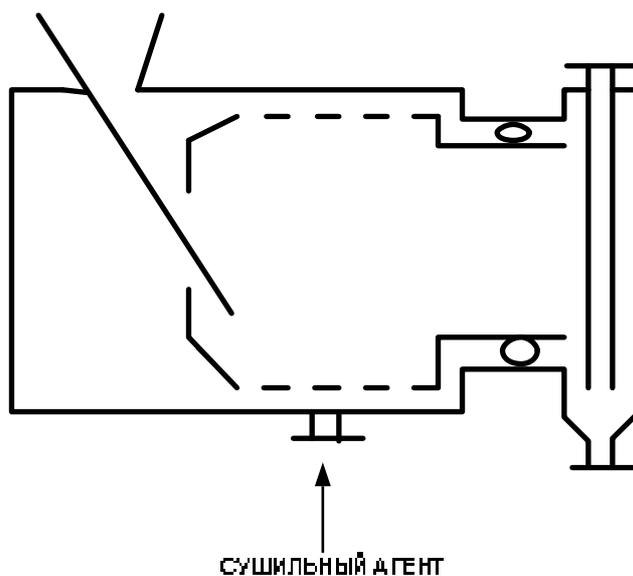
1) сушка и обжиг 2) с-ка и классификация по размеру частиц, 3) с-ка и гранулирование



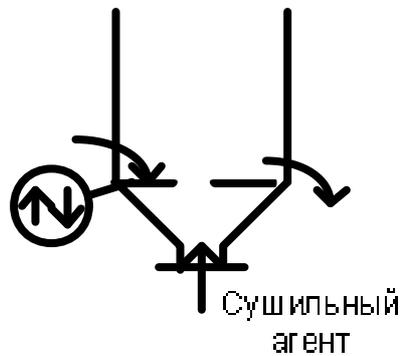
Достоинства: 1 Интенсивность сушки очень высокая;
 2 Сушилки кипящего слоя намного проще, надёжнее, чем барабанные и меньше по размерам;
 Недостатки: 3 Аппарат в целом ближе к аппаратам идеального смешения, и вследствие разного размера частиц трудно обеспечить равномерность сушки. Высокую степень сушки получить нельзя.

Сушилки центробежного кипящего слоя

На частички вместо g действует центробежное ускорение $g = \frac{v^2}{R}$
 При этом скорость кипящего слоя превышает вторую критическую скорость.



Сушилки виброкипящего слоя



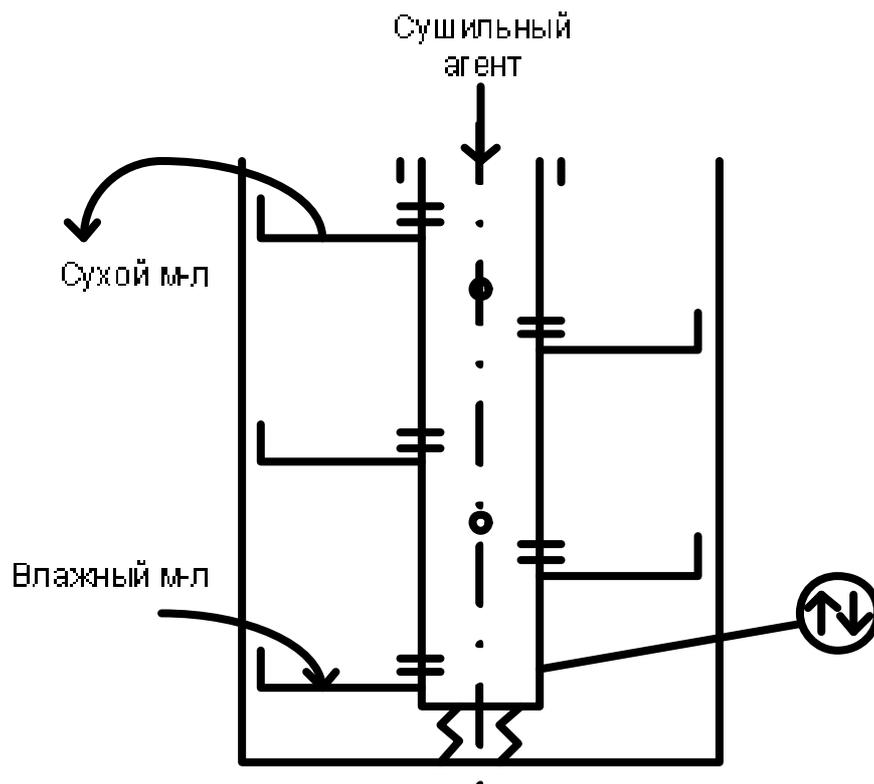
Виброслой обладает насосным действием. Он способен перемещаться в направлении вибрации. Расход воздуха небольшой. Сетка колеблется за счёт вибрации, материал кипит.

Элеваторная сушилка

Сушилки виброкипящего слоя применяются тогда, когда нужно интенсифицировать процесс сушки при малом расходе теплоносителя. Расход теплоносителя небольшой, сетка колеблется и за счёт вибрации материал кипит.

У виброслоя есть две особенности:

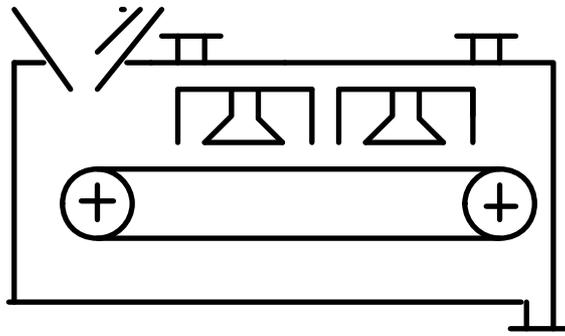
- 1 Виброслой обладает насосным действием (т.е. трансформирует через себя газ или воздух);
- 2 В виброслое частицы могут перемещаться в любом направлении, в зависимости от направления вибрации.



Радиационная сушка

Подвод теплоносителя к высушиваемому материалу осуществляется в виде световой энергии в инфракрасной части спектра. При этом материал прогревается на некоторой глубине (целесообразность прерывистого излучения). В качестве излучателей могут быть любые нагретые поверхности: электрические в виде ламп накаливания, газовые в виде керамических труб с горелкой

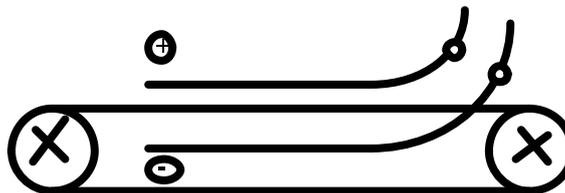
Эффективность сушки высокая. Конструктивно могут выполняться по разному (туннельные, ленточного типа).



Высокочастотная сушка

Осуществляется токами высокой частоты. Нагревается за счёт колебательных, полярных молекул в поле высокой частоты. Отличительная особенность – равномерное выделение тепла во всём объёме.

Применяется в тех же случаях, что и радиационная. Регулирование температуры и влагосодержания материала определяется изменением напряжением электрического поля. Все показатели приблизительно одинаковы, как у радиационной.



Под действием электрического поля частицы ионы и электроны меняют направление движения синхронно с изменением знака заряда. Эти процессы сопровождаются трением, приводящим к выделению тепла.

Пневмотранспортная сушилка

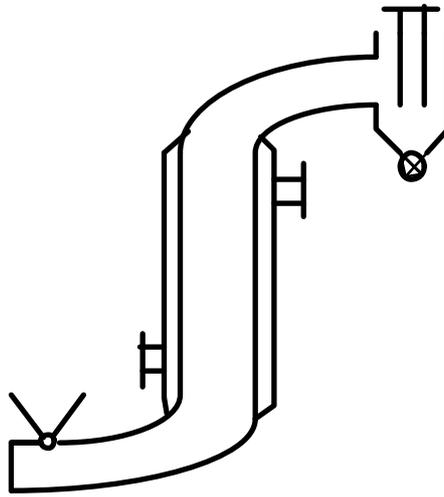
Для сушки зернистых и мет-их материалов, обладающих незначительной начальной влажностью. Наилучшую интенсивность массообмена при сушке будет при продувке воздуха через слой, причём эффект массооб- на будет увеличиваться при увеличении скорости газа (воздух).

Основной недостаток СНС – малая скорость воздуха. Сушилки с зажатым слоем используются, когда гидр. сопротивление не имеет значение.

В области резкого увеличения скорости при том же ΔP сушилки работают в режиме пневмотранспорта. (-) – обычно частицы бывают разного размера, уменьшается время пребывания, более крупные частицы не успевают высохнуть, т.е. неравномерность сушки. Из-за высоких скоростей пр-сс сопровождается значительным истиранием материала, образуется пыль, кроме циклонов приходится ставить фильтр – большие затраты энергии из-за большого гидравлического сопротивления.

$$\Delta P = \sum \xi \cdot \frac{\rho_r \cdot w^2}{2}; \quad \sum \xi = \sum \xi_0 \cdot (1 + k \frac{l}{g}) \quad \sum \xi_0 - \text{без тв. фразы}$$

l – массовый расход тв. фазы g – масс расход газовой фазы k – коэфф-т зависящий от размера и формы частиц. В силу указанных (-) и несмотря на простоту конструкции и компактность, как правило используют в комбинации с другими сушилками.



Печи. Расчёт. Конструкция

Это реактор, в котором получают новый продукт. Их используют для обработки твердых материалов, в некоторых случаях расплавов. Существуют следующие виды печей:

1. барабанные;
2. шахтные (печи с движущимся слоем);
3. кипящего слоя;
4. полочные печи;
5. туннельные печи;
6. циклонные (вихревые);
7. специальные печи.

Рассмотрим конструкции некоторых из них.

Барабанные печи. Различают два вида данных печей:

- пустотелые (пламенные);
- муфельные

Пустотелые.

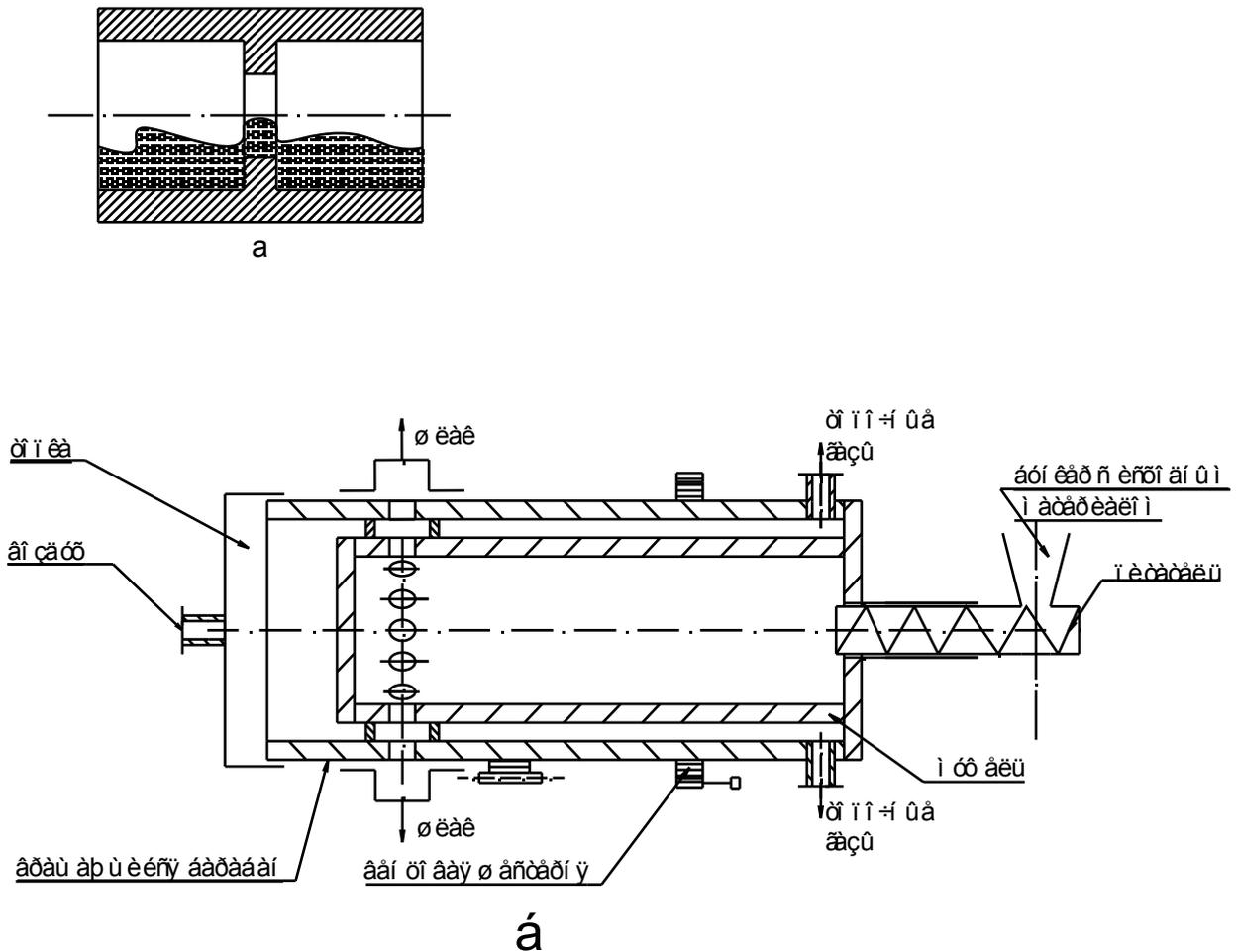


Рисунок 1 – Пустотелая печь (пламенная) (а) и муфельная (б)

Пустотелые печи по конструкции не отличаются от барабанных сушилок отличие лишь в температуре ($>1000^{\circ}\text{C}$), поэтому изнутри печь облицовывают огнеупорным материалом. При температуре до 600°C облицовывают клинкерным цементом. При более высоких температурах используют огнеупорный кирпич, в зависимости от свойств среды диасовый, магнезитовый, хроммагнезитовый и др.

Насадку в печи как правило не делают т.к она при высоких температурах выгорает. Для задержки материала в барабане используют перегибы. Сжигание топлива осуществляется непосредственно в печи.

Шахтные печи (печи с движущимся слоем).

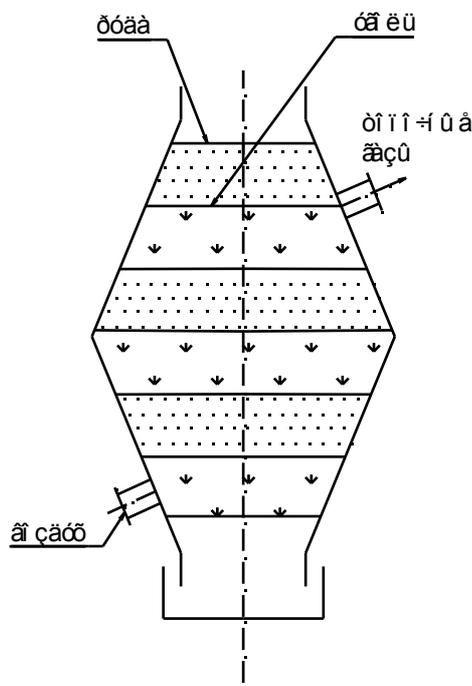


Рисунок 2 – Доменная печь.

Различают три группы данных печей:

- с твёрдым топливом;
- муфельные;
- электродуговые.

У этих печей существует существенный недостаток – это низкая производительность.

Полочная печь.

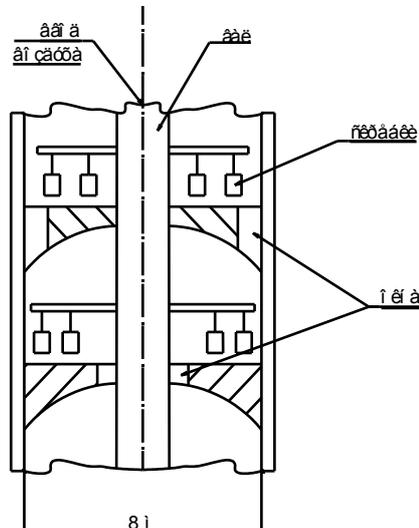


Рисунок 3 – Полочная печь.

Максимальная температура в печи 800⁰С, применяют для обжига колчедана и различных руд. Достоинство печи: небольшой унос огарка, но несмотря на это, эти печи имеют низкую производительность при больших размерах (внутренний диаметр до 8 м) и рабочие органы печи (скребки) быстро выходят из строя. Скребковые печи заменяются печами кипящего слоя.

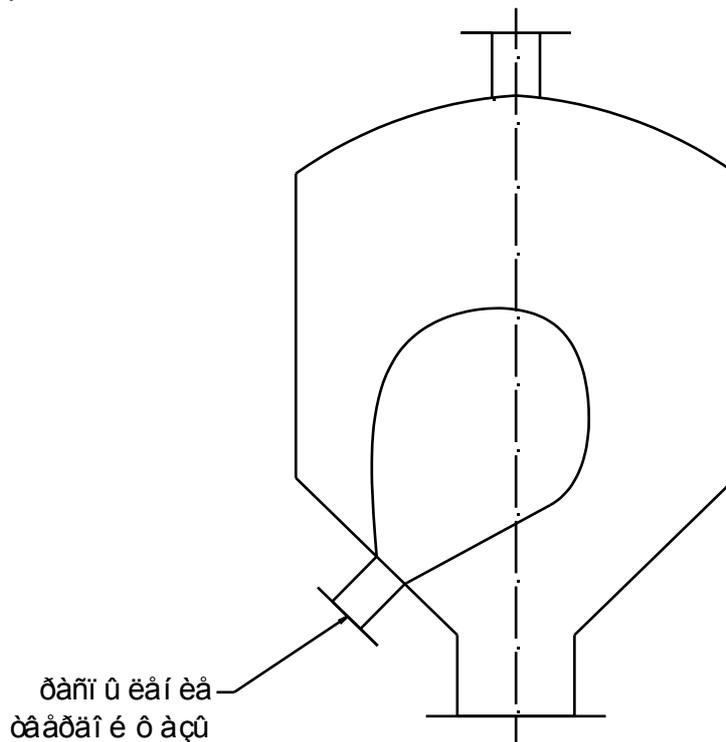
Печи КС.

По конструкции совсем не отличаются от сушилок кипящего слоя, различие - это отсутствие топки. Истирание материала в сушилке кипящего слоя – это недостаток, а для печи кипящего слоя – достоинство. Часто воздух подаётся совсем холодным или немного подогретым (200⁰С). Печь полностью футерована. Достоинство: высокая производительность при небольших размерах, большой % полезных продуктов сгорания. Недостаток – значительный унос огарка (до 90%), не-

обходимо ставить сложную систему очистки отходящих газов (циклоны, электрофилтры, скрубберы мокрой очистки). Считаются более прогрессивными.

Печи объёмного горения

М вводить твердое топливо в смеси с газообразным, мелко измельченное в виде гранул 100 – 200 мкр.



Расчет печей. На начальном этапе расчета печи необходимо определить необходимое количество воздуха для сжигания топлива исходя из производительности печи по сжигаемому материалу, коэффициента избытка и количества воздуха, необходимого для сжигания единицы массы материала. После этого исходя из оптимальной скорости движения газов в печи и теплового напряжения определяется объем топочного пространства и остальные габаритные размеры печи.

Топки для сжигания твердого, жидкого, газообразного топлива

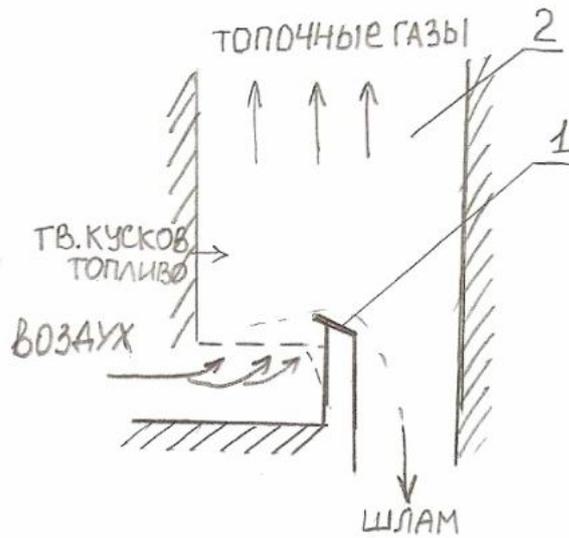
Топки – устройства, предназначенные для сжигания топлива (жидкого, твердого, газообразного) и получения топочных газов.

Топки подразделяются на: слоевые и камерные. Камерные топки, в свою очередь, подразделяются на: факельные и циклонные (вихревые).

Топки для сжигания твердого топлива

Слоевой способ сжигания твердого топлива представлен на рисунке 1.

При слоевом способе колосниковая решетка движется, непрерывно пульсируя или вращаясь. Вследствие движения решетки или специального устройства слой топлива на ней перемешивается, что обеспечивает равномерное и интенсивное горение топлива и удаление шлака.



1 – колосниковая решетка, 2 – камера горения
Рисунок 1

Факельный способ сжигания твердого топлива представлен на рисунке 2.

При факельном способе твердое топливо, размолотое в пыль, сжигают, которое в смеси с воздухом подают в топку. Увеличение степени помола приводит к увеличению удельной поверхности частиц топлива и более эффективному его сгоранию, но увеличивается унос огарка.

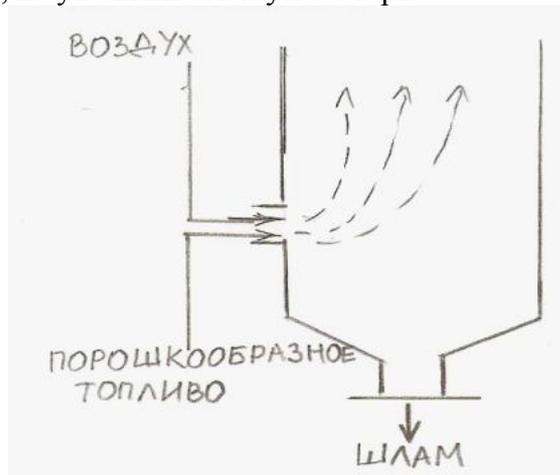
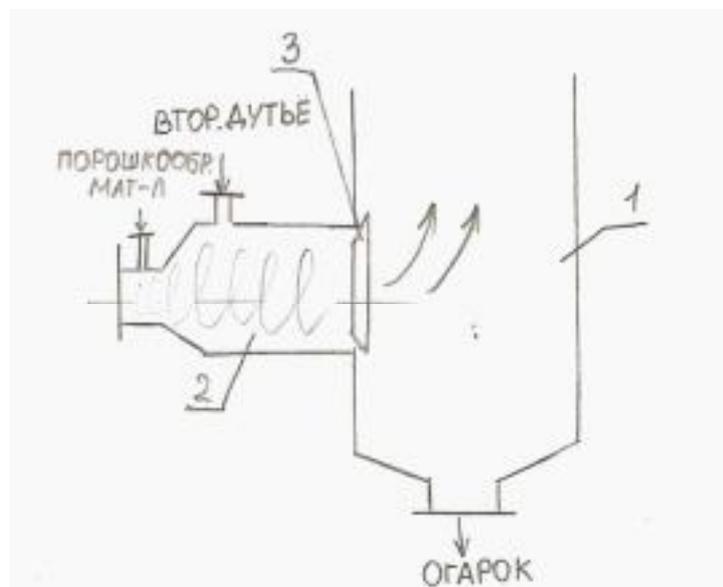


Рисунок 2

Циклонный способ сжигания твердого топлива представлен на рисунке 3.

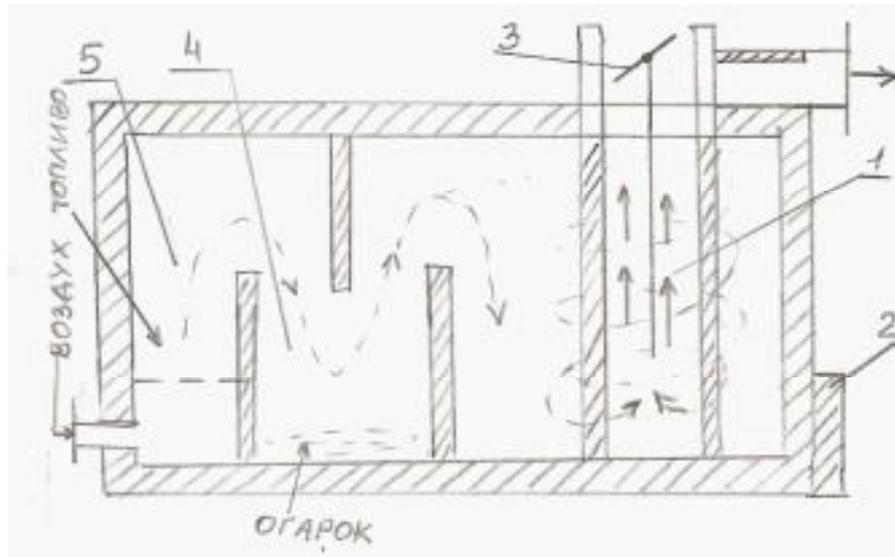
При циклонном способе топливо сжигают в закрученном потоке, время пребывания в циклонной камере достаточно для сгорания частиц диаметром = 200 микрон.



1 – камера дожигания, 2 – камера горения, 3 – жалюзи
Рисунок 3

Слоевая топка для сжигания твердого топлива

Слоевая топка представлена на рисунке 4.



1 – циклон, 2 – дверь, 3 – шибер, 4 – осадительная камера, 5 – камера горения
Рисунок 4

Топки для сжигания твердого топлива снабжены осадительными камерами, за которыми иногда подсоединяют циклон или другое пылесадительное устройство, т.к. унос золы из топки значителен (20-30%). В слоевых топках топливо находится на специальных колосниковых решетках. Необходимый для горения воздух подается в слой топлива под колосниковую решетку. Подача топлива на решетку осуществляется непрерывно или пульсирующе. Двойная подача воздуха уменьшает скорость воздуха в слое и унос искр и золы из топки. Основное назначение циклона-искродожигателя – дожигание раскаленных частиц топлива. Разбавление топочных газов до нужной температуры в камере смешения, для чего открывается растопочный клапан (шибер). Растопочная труба для: 1) отвода газа при растопке; 2) нарушения полноты горения; 3) аварий или остановки. Циклон-искродожигатель не обеспечивает тщательной очистки газа от золы, т.е. некоторое количество частиц осевшее в карманах циклона вновь подхватывается потоком воздуха.

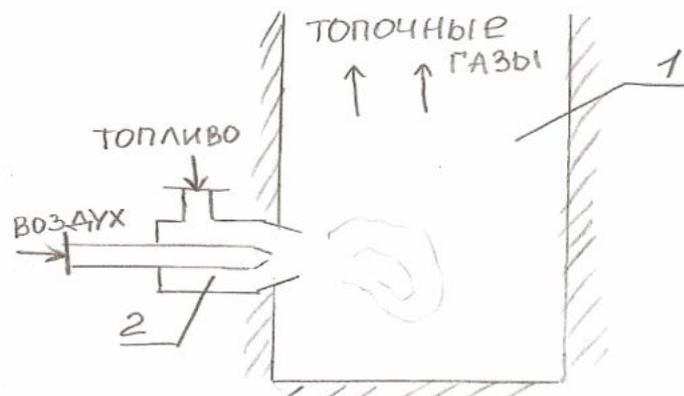
Топки для сжигания жидкого и газообразного топлива

Сжигание такого топлива дает ряд преимуществ по сравнению со сжиганием твердого топлива:

- 1) продукты сгорания не загрязнены золой,
- 2) топочные устройства компактны и просты в эксплуатации,
- 3) улучшаются санитарные условия труда,
- 4) легче автоматизировать и регулировать режим работы.

Существуют следующие способы сжигания топлива:

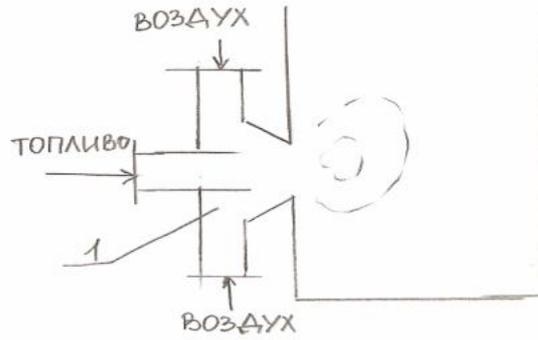
- 1) форсуночный, представлен на рисунке 5.



1 – топочная камера, 2 – форсунка

Рисунок 5

2) при помощи газовой горелки, представлен на рисунке 6.



1 – горелка

Рисунок 6

3) при помощи бесфакельной газовой горелки, представлен на рисунке 7.

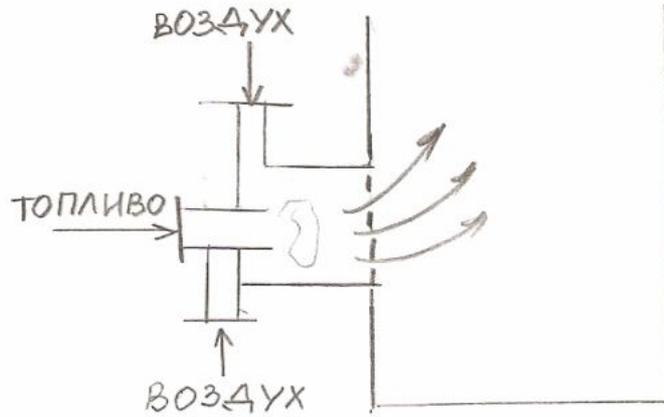
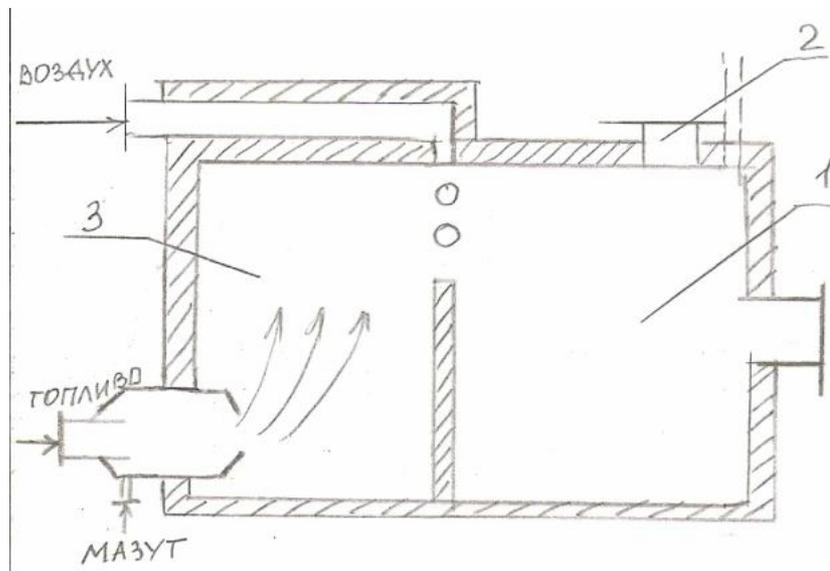


Рисунок 7

Топка для сжигания мазута (объем 180м³)

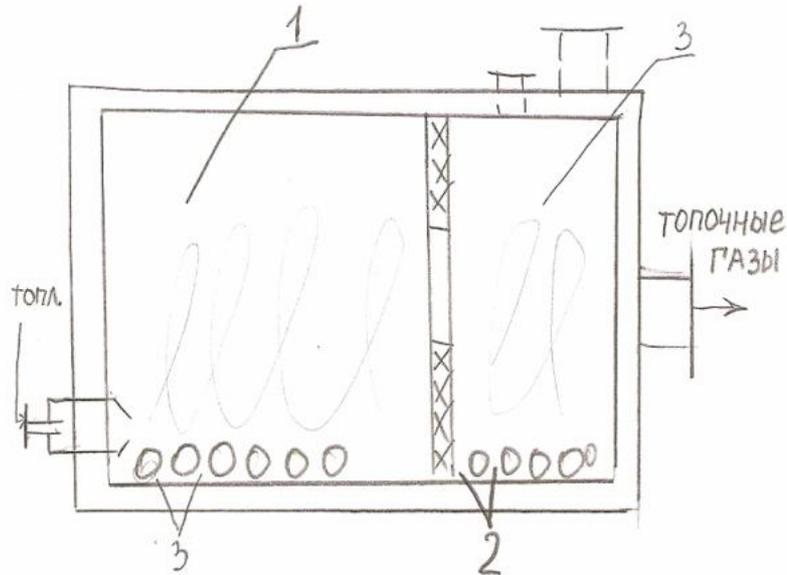
Топка для сжигания мазута представлена на рисунке 8.



1 – камера смешения, 2 – растопочная труба, 3 – камера горения
Рисунок 8

Топка имеет цилиндрический корпус, кожух стальной (Ст3), внутри камера футирована огнеупорными кирпичами, воздух в форсунку подается в небольшом избытке. Воздух для разбавления газа вводится в смесительную камеру через каналы в верхней части топки, что позволяет одновременно охлаждать верхний свод камеры.

Топка для сжигания газа представлена на рисунке 9.

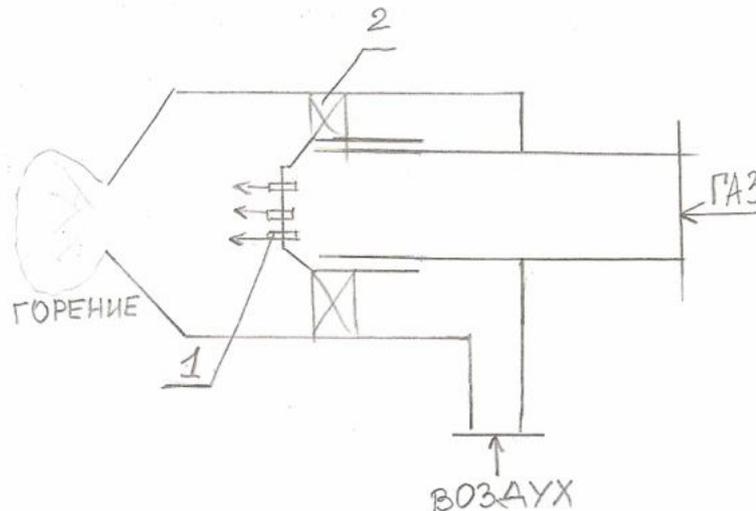


1 – камера горения, 2 – сопла для подачи воздуха, 3 – камера смешения
Рисунок 9

Цилиндрический стальной кожух футирован изнутри огнеупорным материалом. Горелки низкого давления устанавливаются по фронту. На фронтальной поверхности располагается запальник, смотровое окно. Камера смешения отделена от камеры горения пережимом. Вторичный воздух в камеру горения подается тангенциально со скоростью 15-25 м/с. Закручивание потока обеспечивает хорошее перемешивание газа с воздухом, который одновременно охлаждает кладку топки.

Газовая горелка низкого давления

Газовая горелка низкого давления представлена на рисунке 10.

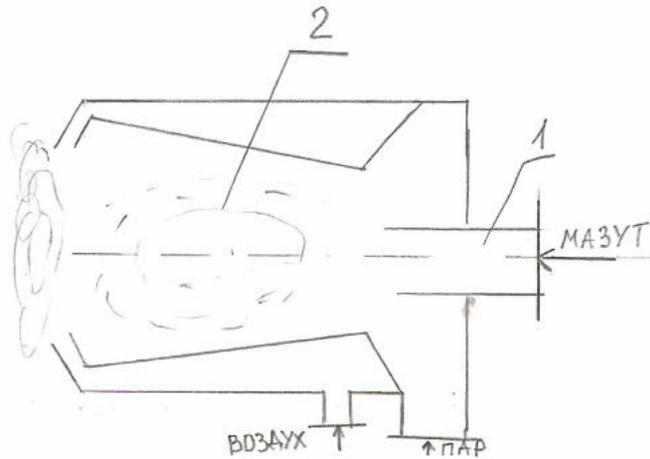


1 – наклонные лопасти, 2 – мундштук
Рисунок 10

Производительность горелки регулируется за счет диаметра отверстий мунштуков.

Пневматическая форсунка для сжигания мазута

Пневматическая форсунка для сжигания мазута представлена на рисунке 11.

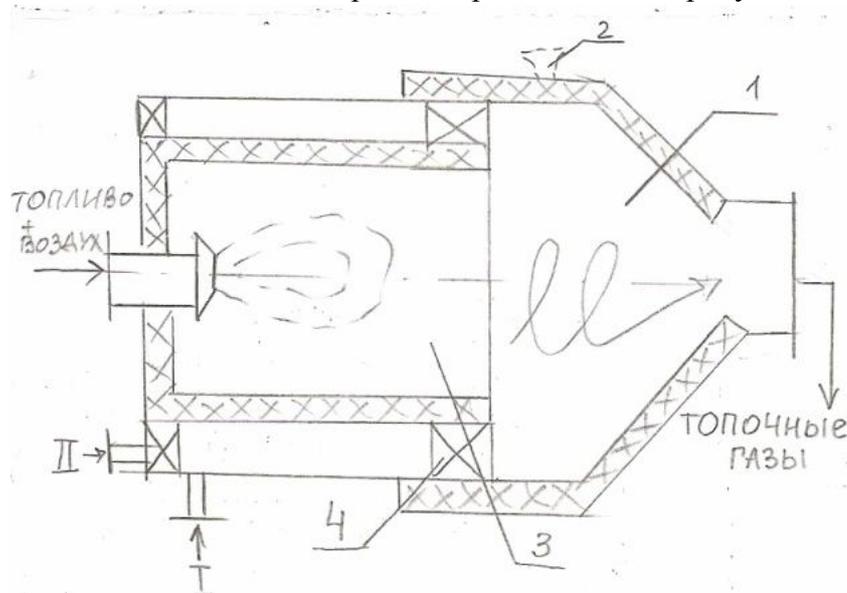


1 – трубопровод, 2 – труба Вентури

Рисунок 11

Топка для сжигания газа с инжекционной горелкой

Топка для сжигания газа с инжекционной горелкой представлена на рисунке 12.



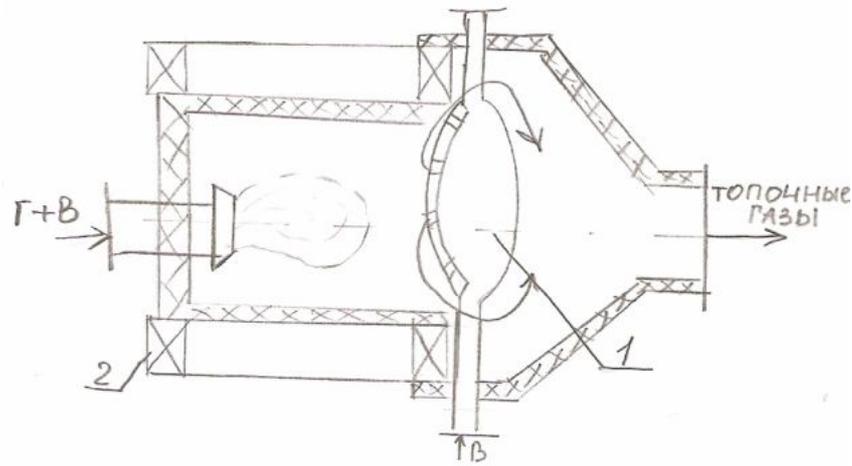
1 – камера смешения, 2 – предохранительный клапан, 3 – камера горения,
4 – опорные лопасти

Рисунок 12

Отличительная особенность этих топок зазор между камерой горения и кожухом топки, в которой тангенциально (1) или при помощи жалюзи (2) подается воздух на разбавление – он охлаждает наружную стенку камеры горения и далее смешивается с продуктами горения. Процесс проводят при избытке воздуха. При этом химическое не дожигание топлива сводится к минимуму. В конце греющей камеры создано направляющее для закручивания воздуха, которая одновременно является опорой для консольной части камеры. Потери тепла в окружающую среду малы. Топки могут работать под разрежением или небольшим избыточным давлением. Так как топочные газы требуются с температурой 200 – 300, то топка состоит из двух частей: камер горения и смешения.

Топка для сжигания газа с тепловым экраном

Топка для сжигания газа с тепловым экраном представлена на рисунке 13.



1 – полая чаша, 2 – жалюзи

Рисунок 13

На выходе из камеры горения устанавливается экран, защищающий от прямой тепловой радиации крыльчатку дымососа, установленного непосредственно у топки. Экран – полая металлическая чаша, установленная на ножках из полых труб, снабженная отверстиями со стороны горелки (дуршлаг), имеющий обмазку из жаропрочного материала.

Перемешивание жидких сред

Принцип-введение дополнительной энергии в среду, которая используется для перемешивания. Методы введения энергии: 1) механический; 2) пневматический 3) пульсационный (экстрак.); 4) циркуляционный; 5) струйный (сопла); 6) электромагнитный;

Механическое перемешивание. Аппарат-корпус, крышка, вал, уплотнительные устройства, привода. Факторы: -1) эффективность перемешивания; 2) расход энергии.

Мощность зависит от конструкции мешалки и характеристики привода, конструкции аппарата, его внутренних устройств, режима течения в аппарате. $Kn=f(Re)$ $Kn=N/(p \cdot n^3 \cdot d^5)$, p – плотность жидкости n – частота вращения мешалки, d – диаметр мешалки N – затраты мощности на перемешивание. $Re=n \cdot d^2 \cdot \rho / \mu$

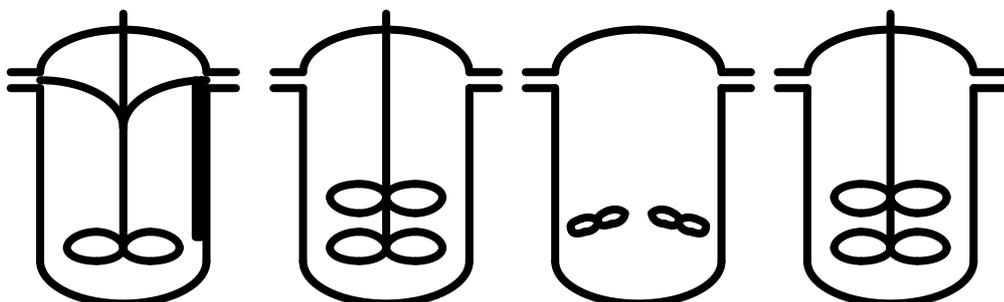
Методика расчета: 1) Определение диаметров аппарата и мешалки; 2) определение Re ; 3) по графику $Kn = f(Re)$ определить Kn ; 4) определить N ; 5) по N подбираем привод.

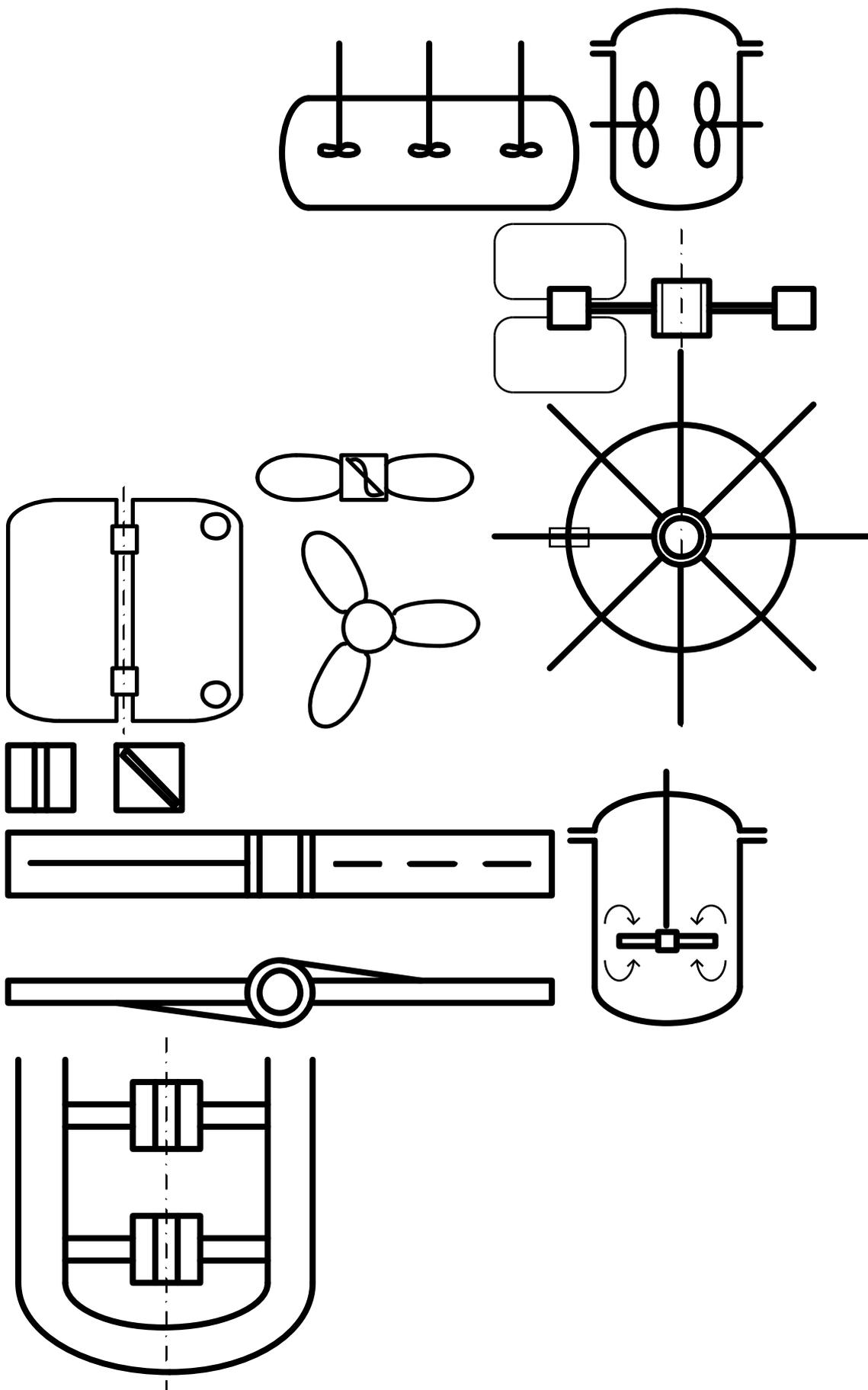
В системе г-ж, газ уменьшает плотность и вязкость среды, что уменьшает затраты мощности на величину $E=Kn(\gamma)/Kn$; $Kn(\gamma)=Q\gamma/(n \cdot d^3)$. $Q\gamma$ – объемный расход газа через аппарат. В зависимости от числа оборотов ротора мешалки делят на тихоходные и быстроходные. По исполнению различают типы мешалок: 1) лопастные 2) рамные; 3) якорные; 4) листовые; 5) пропеллерные; 6) турбинные.

1-4-при ламинарном режиме; 5-6-при турбулентном. Каждая из них предназначена для работы в определенных условиях, определяемых руководящим техническим материалом. Мешалки в аппаратах могут располагаться по разному.

Интенсивность – минимальная частота вращения мешалки, при которой достигается практически равномерное распределение фаз.

Эффективность – удельные энергозатраты на 1 м^3 среды.





Аппараты для перемешивания жидких сред

Перемешивание в жидких средах применяется в химической промышленности для приготовления суспензий, эмульсий и получения гомогенных систем (растворов), а также для интенсификации химических, тепловых и диффузионных процессов. В последнем случае перемешивание

осуществляют непосредственно в предназначенных для проведения этих процессов аппаратах, снабженных перемешивающими устройствами.

Цель перемешивания определяется назначением процесса. При приготовлении эмульсий для интенсивного дробления дисперсной фазы необходимо создавать в перемешиваемой среде значительные срезающие усилия, зависящие от величины градиента скорости. В тех зонах, где градиент скорости жидкости имеет большое значение, происходит наиболее интенсивное дробление диспергируемой фазы.

В случае гомогенизации, приготовления суспензий, нагревания или охлаждения перемешиваемой гомогенной среды целью перемешивания является снижение концентрационных или температурных градиентов в объеме аппарата.

При использовании перемешивания для интенсификации химических, тепловых и диффузионных процессов в гетерогенных системах создаются лучшие условия для подвода вещества в зону реакции, к границе раздела фаз или к поверхности теплообмена.

Увеличение степени турбулентности системы, достигаемое при перемешивании, приводит к уменьшению толщины пограничного слоя, увеличению и непрерывному обновлению поверхности взаимодействующих фаз. Это вызывает существенное ускорение процессов тепло - массообмена.

Способы перемешивания и выбор аппаратуры для его проведения определяются целью перемешивания и агрегатным состоянием перемешиваемых материалов. Широкое распространение в химической промышленности получили процессы перемешивания в жидких средах.

Независимо от того, какая среда смешивается с жидкостью - газ, жидкость или твердое сыпучее вещество, - различают два основных способа перемешивания в жидких средах : механический (с помощью мешалок различных конструкций) и пневматический (сжатым воздухом или инертным газом).

Кроме того, применяют перемешивание в трубопроводах и перемешивание с помощью сопел и насосов.

Эффективность и интенсивность перемешивания. Наиболее важными характеристиками перемешивающих устройств, которые могут быть положены в основу их сравнительной оценки, являются:

1. Эффективность перемешивающего устройства
2. Интенсивность его действия

Для экономичного проведения процесса перемешивания желательно, чтобы требуемый эффект перемешивания достигался за наиболее короткое время. При оценке расхода энергии перемешивающим устройством следует учитывать общий расход энергии за время, необходимое для обеспечения заданного результата перемешивания.

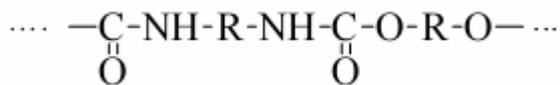
МАШИНЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ (ПОЛИМЕРАХ)

Высокомолекулярными органическими соединениями (ВМС) называют вещества, в состав молекулы которых входят сотни и тысячи отдельных атомов, связанных друг с другом химическими связями. Следовательно, каждая молекула полимера представляет собой гигантское образование, имеющее молекулярную массу, измеряемую десятками и сотнями тысяч атомных единиц массы (а.е.м.). Вследствие большого размера молекул их называют макромолекулами.

Особенностью химического строения макромолекул ВМС является множество повторяющихся звеньев одного или нескольких типов, называемых элементарным звеном. Число, показывающее, сколько раз в макромолекуле повторяется элементарное звено, называется степенью полимеризации (СП) и обозначается символом n . Связь между величиной молекулярной массы (M_n)

и степенью полимеризации (n), выражается отношением $n = \frac{M_n}{M_0}$, где M_0 – молекулярная масса элементарного звена.



и т. д.

(В частности, физико-механические свойства полимеров в значительной степени зависят от структуры макромолекулярной цепи и пространственного расположения одинаковых радикалов (R) у третичных углеродных атомов).

Неорганические полимеры состоят из атомов, типичных для неорганических соединений. Примерами таких полимеров служат эластичная сера, графит, алмаз, кремний, стекло, полифосфат натрия и др. Эти полимеры по своим свойствам существенно отличаются от органических и представляют особый интерес в зависимости от природы и структуры.

Элементорганические полимеры обычно имеют главную цепь неорганического характера, а боковую ответвленную – органического. Наиболее распространены: кремнийорганические полимеры (полисилановые, полисилоксановые, полиорганометаллсилоксановые и др.), титаноорганические, алюминийорганические и другие полимерные соединения. Элементорганические соединения находят применение в текстильной и швейной технологии. Например, кремнийорганические соединения используют для придания тканям, ниткам, швейным изделиям гидрофобных свойств.

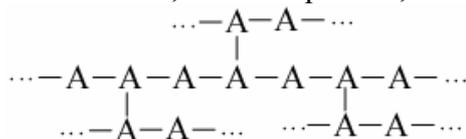
3. По форме макромолекул полимеры подразделяются на линейные, разветвленные и полимеры сшитой структуры.

Линейные полимеры состоят из макромолекул линейной структуры и представляют собой совокупность мономерных звеньев (– A –), соединенных в длинные неразветвленные цепи:



Линейные полимеры являются волокнообразующими.

Разветвленные полимеры характеризуются наличием в основных цепях макромолекул боковых ответвлений, более коротких, чем основная цепь:



Полимеры сшитой структуры могут быть плоскими (лестничные и паркетные) и пространственными (трехмерные). Примером лестничного полимера может служить натуральный каучук – полиизопрен, плоскостного паркетного полимера – графит, трехмерного сетчатого полимера – белок шерсти (кератин), кристаллы алмаза и некоторые другие.

4. По поведению при нагревании ВМС классифицируют на термопластичные и термореактивные.

К термопластичным полимерам относятся полимеры линейной или разветвленной структуры, свойства которых обратимо изменяются при многократном нагревании и охлаждении. В химической промышленности находят применение такие термопластичные полимеры, как полиэтилен, поливинилхлорид, поливинилацетат, полистирол, эфиры поливинилового спирта, полиакриловой и полиметакриловой кислот, синтетические волокна.

К термореактивным полимерам относятся полимеры линейной и разветвленной структуры, макромолекулы которых при нагревании соединяются друг с другом химическими связями. При этом образуются пространственные сетчатые структуры, теряющие свойства термопластичности.

6. В зависимости от природы элементарных звеньев, образующих макромолекулу, различают два типа полимеров: гомополимеры и сополимеры. Их отличие заключается в том, что макромолекула гомополимера образована одним мономером и состоит из одинаковых элементарных звеньев, тогда как макромолекула сополимеров состоит из элементарных звеньев двух и более типов.

Примером сополимера является волокнообразующий полимер, из которого получают полиакрилонитрильное волокно – нитрон. Этот полимер включает 92% звеньев акрилонитрила (является гомополимером), 6,3% - метилакрилата и 1,7% - итаконовой кислоты.

Сополимеры получают с целью достижения желаемого комплекса свойств: растворимости в определенных растворителях, хорошей окрасиваемости и др.

3. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Синтетические полимеры синтезируют при помощи трех видов реакций:

1. Реакция полимеризации.

Эта реакция используется в основном для получения полимеризационных смол из этиленовых углеводородов и их производных. К этой группе полимеров относятся, например, полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, поливинилхлорид, политетрафторэтилен, поливиниловый спирт, поливинилацетат, полистирол, полиакрилонитрил и др. полимеры, получившие практическое применение в химической промышленности.

2. Реакция поликонденсации.

Полимеры, получаемые по реакции поликонденсации, называют конденсационными смолами. Эти реакции также лежат в основе получения многих волокнообразующих полимеров (полиамидных, полиэфирных), полимерных текстильных вспомогательных веществ (например полигликолей), для синтеза термореактивных смол непосредственно на волокне с целью улучшения потребительских свойств изделий.

3. Реакции модификации (полимераналогичные превращения).

Метод полимераналогичных превращений используют для получения новых видов полимеров путем химического превращения полимеров, полученных по реакции полимеризации и поликонденсации, в полимеры другого строения и состава с другими свойствами.

Смесители сыпучих материалов.

1. Способы перемешивания сыпучих материалов.

Для перемешивания твердых сыпучих (порошкообразных) материалов применяются гравитационный, механический и пневматический способы.

Гравитационное перемешивание осуществляется различными механическими приспособлениями, при помощи которых твердый сыпучий материал поднимается на определенную высоту и опускается под действием сил тяжести, описывая более или менее сложные траектории, перемешиваясь при этом. Наиболее распространены в этом случае барабанные смесители, ориентированные соответствующим образом в пространстве (горизонтальные с диагональной осью или бициклические с наклонными осями).

Механический способ перемешивания сыпучих материалов наиболее распространен. Сложное интенсивное движение материала осуществляется вращением различных перемешивающих устройств. К ним относятся одно- и двухвальные (многовальные) лопастные смесители, шнековые смесители, обеспечивающие сложное движение материала, и т. д.

Пневматическое перемешивание осуществляется при прохождении воздуха или газа через слой перемешиваемых порошков во взвешенном, псевдооживленном слое.

Перемешивание неньютоновских сред (пластические массы, термопласты, резиновые смеси и т. д.) осуществляется в основном различными механическими устройствами, также обеспечивающими сложное и интенсивное перемещение смешиваемых компонентов. К таким устройствам относятся валковые и червячные (одно- и двухчервячные машины), дисковые экструдеры, одно- и двухроторные смесители и др.

2. Основные свойства сыпучих материалов.

Способы перемешивания и их выбор зависят от вида и свойств перемешиваемых материалов. Свойства полимерных и др. материалов играют решающую роль в технологических и параметрических расчетах смесительных машин и аппаратов.

К технологическим расчетам относится определение времени и качества перемешивания.

К параметрическим (механическим и прочностным) расчетам относится определение основных усилий в частях машины, её мощности и производительности.

В расчетах необходимо учитывать свойства перемешиваемых материалов.

Размер частиц. Размеры одинаковых шарообразных частиц определяется их диаметром.

Для смесей сыпучих материалов (от порошкообразных до кусковых), состоящих из фракций различных размеров средневзвешенный размер частицы определяется при помощи грануло-

метрического анализа партии насыпного материала, который представляет собой количественное распределение составляющих партии материала частиц по их величине. Величина частицы определяется ее наибольшим размером.

Гранулометрический состав смеси находится по данным ситового анализа (определение массовой доли фракции в смеси) и представляется обычно в виде графиков, где по оси абсцисс отложен размер частиц, а по оси ординат – массовая доля отдельных фракций. Тогда средневзвешенный размер партии материала

$$d_c = \frac{1}{\sum_i \frac{\Delta_i}{d_i}}, \quad (1)$$

где Δ_i — массовая доля частиц размера d_i (i -фракции) в смеси.

Величина d_i для узкой фракции, когда частицы проходят через сито с размерами ячейки d_1 , но остаются на сите с размерами d_2 , причем d_1 мало отличается от d_2 , может быть определена как среднегеометрическая величина по формуле

$$d_i = \sqrt{d_1 d_2}. \quad (2)$$

В том случае, когда форма частиц значительно отличается от сферической, ее размер определяется как диаметр шара по объему равновеликих частиц:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}, \quad (3)$$

где V — среднеарифметическое значение объема одной частицы в данной узкой фракции.

Значение V можно определить по количеству частиц в пробе n_{np} и массе пробы q_{np} при известной плотности твердых частиц ρ по формуле

$$V = \frac{q_{np}}{n_{np} \rho}. \quad (4)$$

Влажность сыпучих материалов может быть «конституционная», т. е. химически связанная с веществом, из которых состоят твердые частицы, и внешняя (гигроскопическая, пленочная, гравитационная), которая может быть удалена тепловым или механическим способами.

Влажность насыпного материала определяется по соотношению:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1}, \quad (5)$$

где m_1 — масса порции материала до высушивания;

m_2 — масса порции материала после высушивания.

Плотность ρ сыпучего материала (истинная) — это масса единицы объема вещества, из которого состоят частицы, а насыпная плотность ρ_n — это плотность свободно насыпанного слоя материала (масса материала, свободно насыпанного в сосуд известного объема).

Порозность ε (эпсилон) слоя сыпучего материала (доля газа, жидкости в объёме) — это отношение объема свободного пространства между частицами к объёму слоя. Значения ρ , ρ_n и ε связаны зависимостью $\varepsilon = 1 - \rho_n / \rho$.

Порозность слоя материала, находящегося под воздействием рабочего органа машины, характеризуют коэффициентом разрыхления μ (отношение объема свободно насыпанного слоя к рабочему объёму, занимаемому обрабатываемой порцией материала).

Параметры, характеризующие поведение сыпучего материала под действием внешней нагрузки:

- угол естественного откоса α — угол наклона образующей конуса, полученного свободным высыпанием порции материала из воронки на горизонтальную поверхность;

- коэффициент внутреннего трения $f_{внут}$, определяющий характер движения и перемешивания частиц материала;

- коэффициент внешнего трения $f_{внеш}$, характеризующий взаимодействие частиц с рабочими органами машин;

Наиболее просто оценить качество механических смесей можно при помощи коэффициента неоднородности по формуле

$$k_c = \frac{100}{C_0} \sqrt{\frac{\sum_i^e (C_i - C_0)^2 n_i}{n - 1}}, \quad (18)$$

где C_i — значение концентрации одного из компонентов в пробах в %;
 C_0 — значение концентрации этого же компонента согласно рецептуре в смеси в %;

i — число групп проб; $i = \frac{n}{n_i}$;

n_i — число проб в каждой группе одинаковых значений;

n — общее число проб.

Величина k_c определяется обычно по компоненту, концентрация C_0 которого является наименьшей.

- начальное сопротивление сдвигу τ_0 — давление, необходимое для преодоления сил сцепления частиц неподвижного слоя материала.

Значения $f_{\text{внутр}}$, $f_{\text{внеш}}$ и τ_0 для конкретных материалов определяют на специальных сдвиговых приборах. Вместо $f_{\text{внутр}}$ и $f_{\text{внеш}}$ в справочниках иногда приводят углы внутреннего $\varphi_{\text{внут}}$ и внешнего $\varphi_{\text{внеш}}$ трения ($f_{\text{вн}} = \text{tg} \varphi_{\text{вн}}$, $f = \text{tg} \varphi$).

Плотность определяется пикнометрически заполнением порции сухого материала жидкостью, смачивающей, но не растворяющей частицы материала. Плотность сухого материала определяется по соотношению:

$$\rho_c = \frac{m}{V_c - V_{ж}}, \quad (6)$$

где m — масса порции сухого материала;

V_c — объем полученной суспензии;

$V_{ж}$ — объем жидкости.

Ориентировочно плотность влажного сыпучего материала может быть определена по формуле

$$\rho = \rho_c (1 + W). \quad (7)$$

Плотность многокомпонентной смеси $\rho_{\text{см}}$ сыпучих материалов можно определить по формуле:

$$\rho_{\text{см}} = \Delta_1 \cdot \rho_1 + \Delta_2 \cdot \rho_2 + \dots + \Delta_k \cdot \rho_k,$$

где Δ — массовая (весовая) доля порошков (в десятых...);

ρ — насыпная плотность порошка, кг/м^3 ;

k — количество компонентов.

3. Оценка качества смешения.

Качество и длительность смешения связаны между собой. Качество перемешивания зависит от многих факторов (конструкции машины, интенсивности перемешивания, свойств перемешиваемых материалов) и определяет в дальнейшем свойства получаемых материалов. Длительность смешения определяет качество смешения. В то же время чем выше интенсивность смешения, тем меньше время смешения при заданном качестве смешения. При чрезмерном увеличении времени смешения, качество падает.

(Для идеальной смеси $k=0$).

Для получения достоверной оценки качества смешения число проб n должно быть достаточно велико (≥ 10 при производственном контроле), вес же каждой пробы должен быть наоборот мал (порядка 1 г).

Указанным способом можно определять качество смешения смесей, состоящих из двух компонентов. Если же число компонентов более двух, то оценку качества смеси упрощают, рассматривая процесс как смешение каждого компонента в отдельности со всей остальной системой компонентов.

Подобная оценка качества смешения может быть использована и для оценки других видов смесей (а не только механических смесей типа сыпучих материалов)

(В этом случае в формулу (18) вместо значений концентраций следует подставлять численные значения показателей свойств перемешиваемых материалов, зависящих от структуры массы).

Оценка качества перемешивания и, следовательно, определение времени перемешивания могут быть осуществлены и другими способами. Наиболее простой – окрашивание жидкости или твердых компонентов. В этом случае можно определять не только конечные результаты, но и визуально наблюдать линии тока при перемешивании, что очень важно с точки зрения оценки интенсивности работы определенного типа перемешивающего устройства.

Использование градиента температур для количественной оценки качества работы мешалок основано на выравнивании температурного поля жидкости после того, как в какой-то части аппарата было генерировано определенное количество тепла. В этом случае время генерирования тепловой энергии должно быть предельно коротким, иначе выравнивание температуры может произойти вследствие конвекции и теплопроводности. По интенсивности выравнивания температурного поля можно судить о степени пригодности различных типов мешалок.

Также по рН... (например, введением в жидкость кислоты и измерением рН фактора до и после).

4. Классификация смесителей.

С точки зрения затрат энергии на перемешивание оборудование, предназначенное для осуществления этого процесса, можно разделить на:

а) смесители, в которых благодаря движению рабочих органов машины образуются сложные линии тока смешиваемых материалов (лопастные, пропеллерные, турбинные и рамные мешалки для жидкостей; роторные, червячные, лопастные, ленточные, валковые, дисковые машины для смешения сыпучих материалов, пластических масс и полимерных материалов). При этом затраты энергии зависят не только от конструктивных особенностей машины, но и от физического состояния материалов (сыпучие, жидкие, полимерные и т. д.);

б) смесители, в которых основная емкость с содержащимися в ней смешиваемыми материалами вращается вокруг вертикальной или горизонтальной оси, совершая при этом простое или сложное движение, благодаря которому материалы смешиваются. Очевидно, расчет мощности привода связан в данном случае с затратами на трение в опорах, на подъем материала и сообщение ему кинетической энергии. К таким устройствам следует отнести различные барабанные смесители, которые иногда снабжаются внутри дополнительными устройствами, улучшающими процесс смешения. В основном такие смесители применяются для сыпучих материалов;

в) смесители, в которых смешивание осуществляется за счет воздействия воздушного потока на равномерно распределенные в потоке мелкие частицы перемешиваемых ингредиентов. В этом случае расход энергии определяется скоростью и расходом воздушного потока, необходимого для образования так называемого взвешенного слоя перемешиваемого материала.

Классификация смесителей в зависимости от конструкции и принципа действия (ориентировочно):

1. Периодического действия:

- 1) барабанные, цилиндрической и сложной конфигурации;
- 2) лопастные, одновальные и многовальные (обычно 2-х);
- 3) барабанно-лопастные (вертикальные и горизонтальные);
- 4) псевдооживленного слоя и т. д.

2. Непрерывного действия:

- 1) шнековые (лопастные, червячные);
- 2) валковые;
- 3) пневматические и т. д.

В химических производствах применяют в основном смесители периодического действия, т.к. они обеспечивают более точное соотношение компонентов смесей, которые загружаются в смеситель последовательно с помощью весовых дозаторов. По механизму переноса вещества смесители подразделяют на диффузионные (одни частицы внедряются в массу других, например барабанные), циркуляционные (частицы двигаются по замкнутому контуру, например вертикальный

центробежно-лопастной) и объемные (частицы перемещаются по всему объему камеры отдельными блоками, например гравитационный лотковый).

5. Барабанные смесители (с вращающимся барабаном).

Бывают:

- а) цилиндрические горизонтальные
- б) с диагональной осью
- в) с вертикальной осью
- г) бицилиндрические с наклонными осями (V-образный).
- д) конические, гранёные и т. д.

Принцип действия цилиндрического горизонтального: при вращении горизонтально расположенного цилиндрического барабана сыпучий материал пересыпается и благодаря относительному смещению слоёв перемешивается в вертикальной плоскости.



Для осуществления продольного смещения (вдоль образующей барабана) ось вращения располагают наклонно к образующей барабана (пьяная бочка) или перпендикулярно. Применяют V-образные барабаны (угловой смеситель). Достоинство – улучшается интенсивность перемешивания, недостаток – неравномерные нагрузки на подшипники. Используют также конические, гранёные формы корпусов и др.



Окружная скорость вращения барабана обычно находится в пределах $0,17 \div 1$ м/с. При больших скоростях центробежная сила, действующая на частицы материала, оказывается сравнима с силой тяжести и движение материала прекращается.

Частота вращения n барабана (об/мин), обеспечивающая оптимальное качество смешения рекомендуется определять по эмпирической формуле: $n = (1500 \div 2000) \sqrt{d_c / R_{\max}}$, где d_c – средний диаметр частиц смешиваемых компонентов; R_{\max} – расстояние от оси вращения до стенки корпуса (обычно равно диаметру барабана).

Степень заполнения смесителя $30 \div 50\%$ $\psi = 0,3 \div 0,5$. При малой степени заполнения ($< 10\%$) порошковый материал скользит сплошным слоем по внутренней поверхности барабана практически без перераспределения.

При горизонтальном расположении оси вращения барабана в материале не возникает интенсивного продольного перемещения (оно происходит главным образом за счёт случайных соударений частиц друг с другом, в следствии чего они отклоняются в ту или иную сторону). Для увеличения скорости продольного перемещения в корпусах барабанных смесителей с горизонтальной осью обычно устанавливают специальные транспортирующие механизмы (спиральные ленты, наклонные лопатки и др.).

Достоинства: простота устройства, возможность перемешивания компонентов без значительного истирания и изменения формы зёрен, перемешивание абразивных компонентов.

Недостатки: удовлетворительное качество и длительный цикл перемешивания, большие энергетические затраты на единицу продукции (удельные), (неравномерные нагрузки на подшипники в некоторых конструкциях).

Производительность смесителей периодического действия может быть определена при наличии экспериментальных данных о времени t , необходимом для перемешивания до достижения заданной степени однородности смеси.

При заданном времени перемешивания t массовую производительность смесителя определяют при заданных типоразмерах (обычно $L/D = 1 \div 2$ для барабанных), и наоборот, по заданным типоразмерам находят его производительность.

$$Q = \frac{V \cdot \rho_{см}^n \cdot \psi}{t},$$

где V – полный объем аппарата в m^3 ;

ψ – коэффициент заполнения;
 $\rho_{см}^H$ – насыпная плотность смеси, кг/м³;

Лопастные смесители.

Классификация

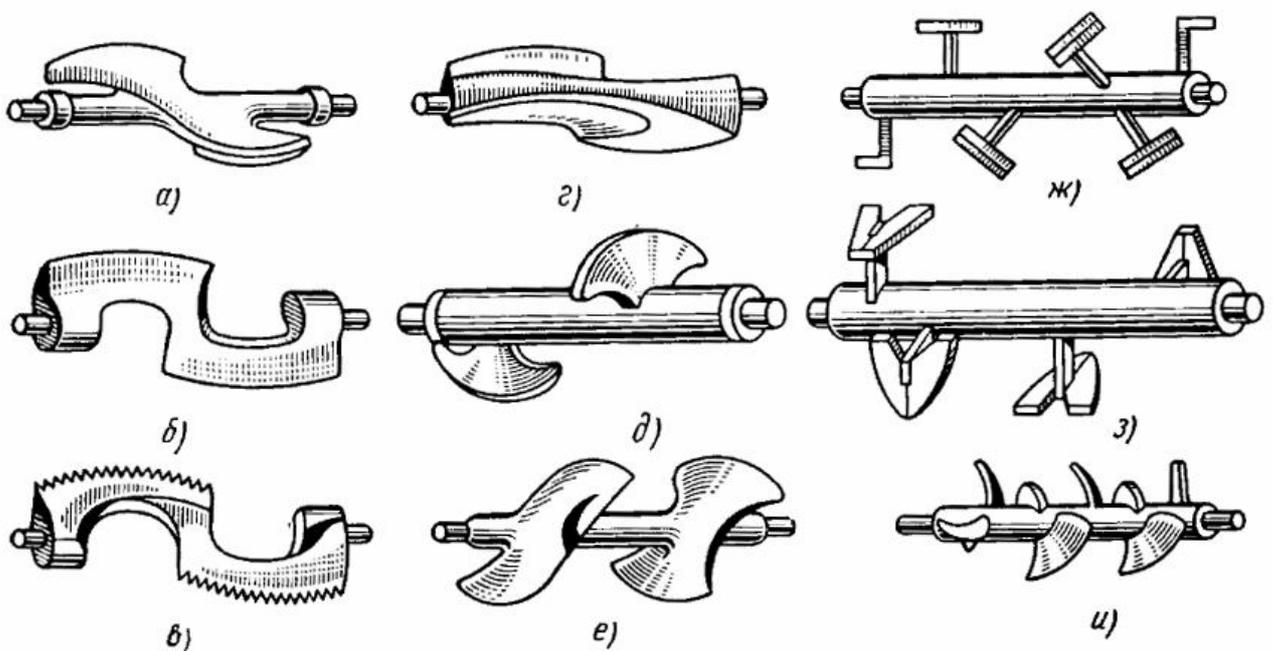
Лопастные смесители отличаются разнообразием типов и конструкций и могут быть классифицированы по следующим признакам:

I. По технологическому назначению:

- 1) смешение масс между собой и с жидкостями для получения однородных смесей;
- 2) расслоение (обнажение, обновление поверхностей) масс с целью промывки, удаления жидких или газовых включений, а также для насыщения жидкостями или газами перемешиваемых масс;
- 3) изменение структуры масс, придание им пластичности, разрушение включенных в массу комков;
- 4) растворение твердых и густых масс в жидкости;
- 5) варка, прогревание или охлаждение масс с одновременным интенсивным их перемешиванием;
- 6) образование суспензий твердых масс в жидкостях или эмульсий жидкостей в густых массах;
- 7) измельчение нежестких масс;
- 8) смешение порошкообразных материалов с красителями.

II. По конструктивным особенностям:

- 1) емкость корыт смесителей (5, 25, 100, 200, 400, 800 и 2000 л);
- 2) максимальная мощность на приводе лопастных валов (смесители малой мощности – до 25 кВт; средней мощности – до 60 кВт; большой мощности – до 150 кВт);
- 3) способ выгрузки смеси (смесители с поворачивающимся корытом, смесители с выгрузкой смеси через отверстие в дне корыта);
- 4) форма лопастных валов (смесители с Z-образными гладкими валами; с Z-образными валами, защищенными от истирания накладками; с двухкрыльчатыми валами; с четырехкрыльчатыми валами; с многокрыльчатыми валами);
- 5) конструкция корыта (смесители с корытом без рубашки для обогрева; с корытом для обогрева нагревателями омического сопротивления; с корытом для частичного обогрева жидкими теплоносителями; с корытом для полного обогрева жидкостными теплоносителями; с корытом для обогрева и с защитным покрытием внутренней полости стенок листовым металлом);
- 6) конструкция крышки корыта (смесители с крышками для перемешивания масс без давления в корыте; с крышками для перемешивания масс под вакуумом в корыте; с крышками для перемешивания масс с избыточным давлением в корыте);
- 7) конструкция сальникового уплотнения корпуса корыта (с сальниками для уплотнения масс без

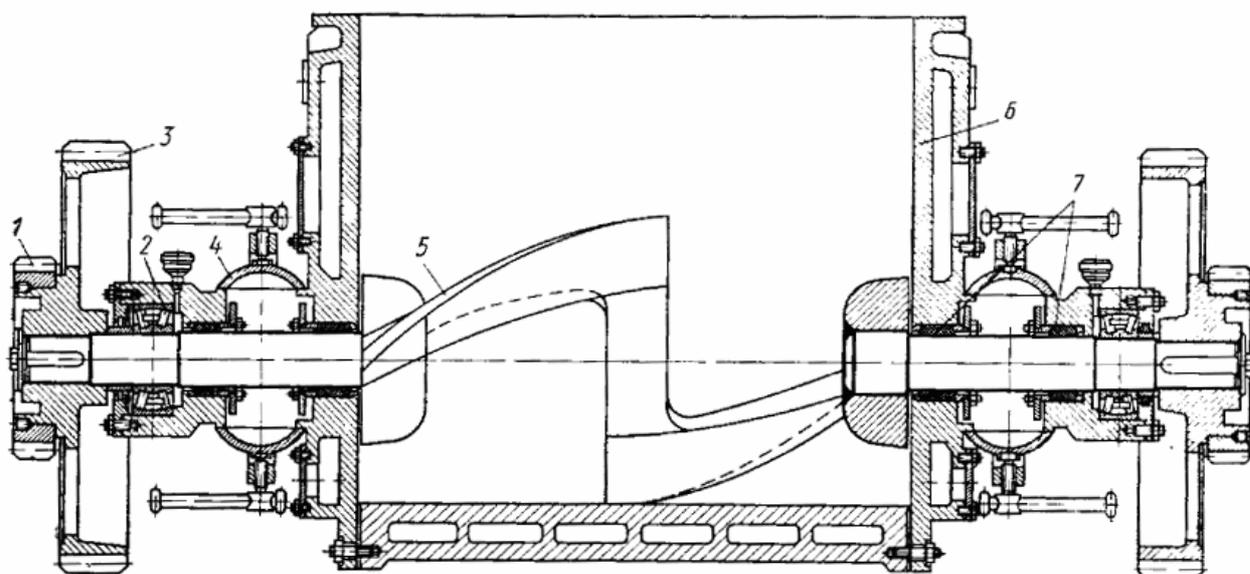


Типовые формы лопастных валов:

а, б, в, г – Z-образные гладкие; д – двухкрыльчатые; е – четырехкрыльчатые; ж – многокрыльчатые с Т-образными лопастями; з, и – многокрыльчатые с лопатообразными лопастями

давления в корыте; с двойными сальниками и герметически закрытой сальниковой камерой для перемешивания масс под вакуумом или под избыточным давлением в корыте).

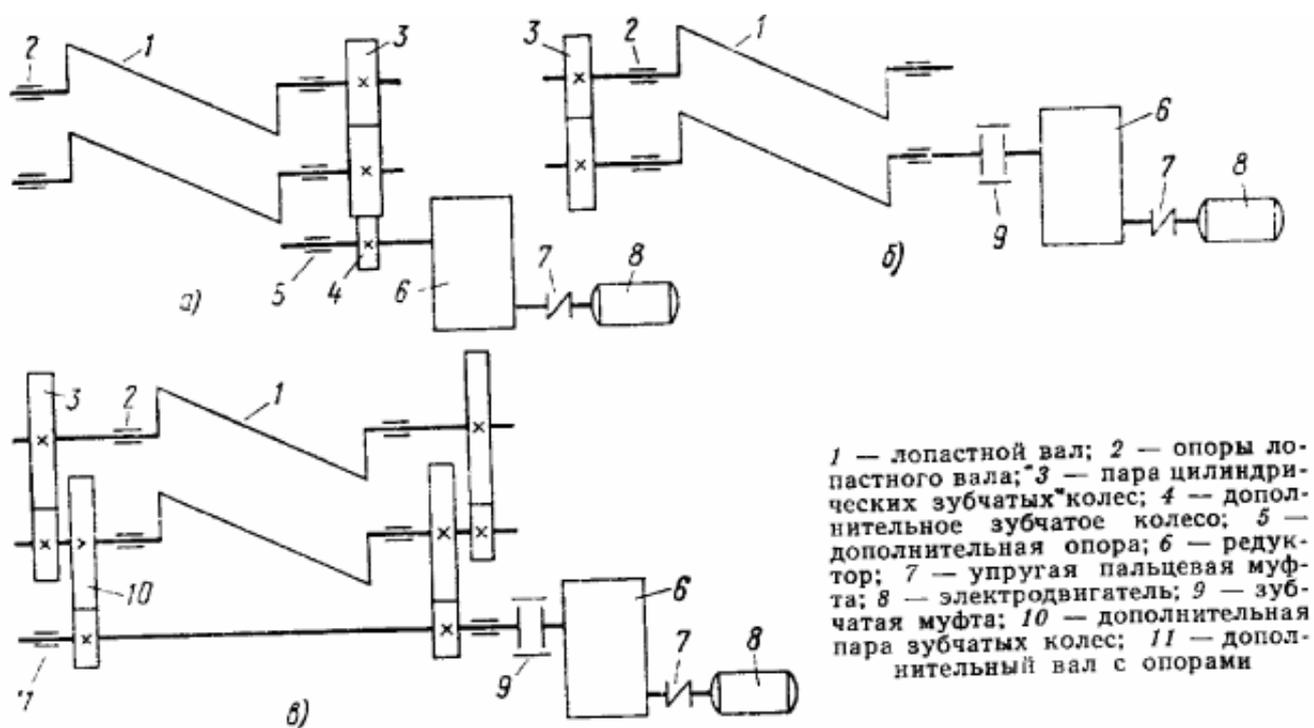
Конструкции лопастей весьма разнообразны, в зависимости от назначения.



Лопастной вал с Z-образными лопастями смесителя емкостью 800 л:

1 — зубчатое колесо; 2 — подшипники; 3 — зубчатые колеса; 4 — сальниковая коробка; 5 — лопастной вал; 6 — боковая стенка; 7 — сальниковые уплотнения

Далее приведены типовые кинематические схемы привода смесителей лопастного типа



Валковые машины.

Принцип работы валцов и каландров.

Конструкции основных узлов.

Предприятия ХП, перерабатывающие пластические массы и резиновые смеси, оснащаются машинами разного назначения, в том числе и валковыми машинами, основные из которых – вальцы и каландры.

Валковые машины применяются для смешения, пластикации и дробления материалов, для изготовления полос и пленок из пластмасс и резины и т. п. Большое значение имеют технологические каландровые линии для изготовления линолеума, кумароновых, битумных плиток, пленок и других изделий.

Вальцы

Классификация вальцев

I. По назначению:

- 1) смесительные и листовальные;
- 2) подогревательные;
- 3) регенеративно-смесительные;
- 4) дробильные (или перетирающие);
- 5) рафинировальные;
- 6) промывные.
- 7) для гранулирования и чешуирования

II. По конструктивным признакам:

- 1) по размерам валков (производственные 300 - 660мм; 800 - 2100 и лабораторные 300 - 800мм);
- 2) по количеству валков (двухвалковые, трехвалковые и т.д.);
- 3) по типу привода (индивидуальные, сдвоенные, групповые);
- 4) по величине фрикции (1,08 - 4).

Под фрикцией понимают отношение окружных скоростей валков.

1) Смешение и листование. Смешение композиций материала основано на движении слоев запаса с различной скоростью. На практике это явление наблюдается как вращения запаса материала в виде двух зон. Основной перерабатывающий эффект достигается вблизи минимального зазора, где скорости сдвига имеют наибольшее значение. Материал затягивается валками в зазор, при этом формируется одна поверхность и материал в виде пленки или листа выходит из машины.

Материал увлекается одним из вальцев в следствии разных скоростей вращения или разных температур поверхностей валков.

2) Подогревание. Этот процесс заключается в том, что готовая резиновая смесь пропускается через машину, поверхность валков которой нагревается. Нагрев осуществляется паром, поступающим внутрь валков.

3) Регенеративное смешение. Данный процесс отличается от смесительного тем, что сырье, которое при смешении проваливается между валками, попадает на транспортер (фартук) и вновь подается в зазор между валками. Ширина ленты транспортера соответствует рабочей длине валков. Лента приводится в движение валком на который она подает сырье.

Натяжение ленты транспортера производится тросом и передающими блоками с помощью груза или пневмоцилиндра.

4) Дробление. Этот процесс заключается в дроблении старой резины. Валки машины при этом работают с высокой фрикцией и имеют рифления, расположенные по винтовой линии. Высокая фрикция и рифление обеспечивает заданную степень дробления.

5) Рафинирование. Оно применяется для очистки материала от недовулканизированной резиновой крошки и других твердых включений. Удаление таких включений обеспечивает бочкообразной формой валков, благодаря которой твердые частицы выдавливаются из массы материала от центра к края валков. Кромки ленты, выходящей из машины обрезаются и отводятся в виде лент.

6) Промывка каучука. Процесс отмывки каучука от примесей производится водой, поступающей по распределительной трубки, расположенной вдоль оси валков. Излишки воды отжимаются из каучука в зазоре между валками. Обычно машины для промывки включаются в грунтовую установку, состоящую из дробильных и листовальных вальцев.

7) Гранулирование и чешуирование.

Принцип действия Вальцев.

Материал подается на валки (рис. 1, а и б) в виде отдельных кусков, порошкообразных или рыхлых волокнистых масс. В результате вращения валков навстречу друг другу вследствие трения и адгезии загружаемый материал затягивается в зазор между валками и на выходе из него прилипает к одному из валков в зависимости от разности температур поверхностей валков и их окружной скорости. Валки приводятся во вращение электродвигателем через редуктор и пару зубчатых колес. Зубчатая пара колес позволяет регулировать (при замене колес) окружную скорость валков. Эти колеса называются фрикционными.

Каждый валок имеет систему регулирования температуры, обеспечивающую охлаждение или подогрев его поверхности.

На процесс вальцевания влияет также величина зазора между валками. Зазор регулируется с помощью механизма, имеющего свой приводной электродвигатель, червячный редуктор и ходовой винт, связанный с подшипником, в котором расположены шейки валка.

Процессы гомогенизации, смешения и пластикации требуют многократного пропускания массы через зазор между валками и могут осуществляться периодически и непрерывно.

На валках периодического действия масса после загрузки одной или последовательно несколькими порциями проходит через зазор между валками, прилипая к одному из них, повторно проходит через зазор и в этот период дополнительно смешивается вследствие неравенства окружных скоростей валков и дополнительной подрезки массы на отдельных участках по длине валка. После многократного пропускания через зазор (количество пропусков определяется экспери-

ментально для каждого вида смеси) масса срезается отдельными полосами вдоль образующей по длине вала и сматывается в рулон или снимается в виде полосы определенной ширины. Схема обработки материала на валках периодическим способом показана на рис. 1, а.

На валках непрерывного действия масса подается с одного конца и в середине валков непрерывно, проходит между валками в течение заданного технологическим процессом времени (устанавливается для каждого вида материала экспериментально), совершает при этом вращательное и поступательное движения вдоль образующей вала (к одному концу или к обоим концам валков, в зависимости от места загрузки) и непрерывно срезается в виде узкой ленты (рис. 1, б).

При вальцевании, срезка материала с вала и подача его в зазор имеет существенное значение для процесса, так как при этом нарушается замкнутость линии тока и обеспечивается перемещение материала в направлении горизонтальной оси вала. При частом повторении операции среза материала масса лучше перемешивается.

В валках, работающих непрерывно, устанавливаются дополнительные приспособления для подрезания материала. В качестве таких приспособлений применяются подрезные ножи специальной конструкции, перемещающиеся вдоль образующей вала, или автоматические приспособления для перемешивания массы.

Процессы пластикации и гомогенизации материала осуществляются на валковых машинах путем многократного пропускания смеси через зазор между валками при определенных температурных условиях и скоростных режимах.

При движении в зазоре обрабатываемый материал сжимается, раздавливается и истирается, так как валки имеют различные окружные скорости. В зависимости от возникающих при этом напряжений и свойств материала происходит упругая пластическая деформация или разрушение материала.

Разрушение материала достигается благодаря трению между валками свыше 2,5 и применению валков с рифленной поверхностью.

Процесс дробления осуществляется в результате раздавливания и интенсивного истирания материала в зазоре между валками.

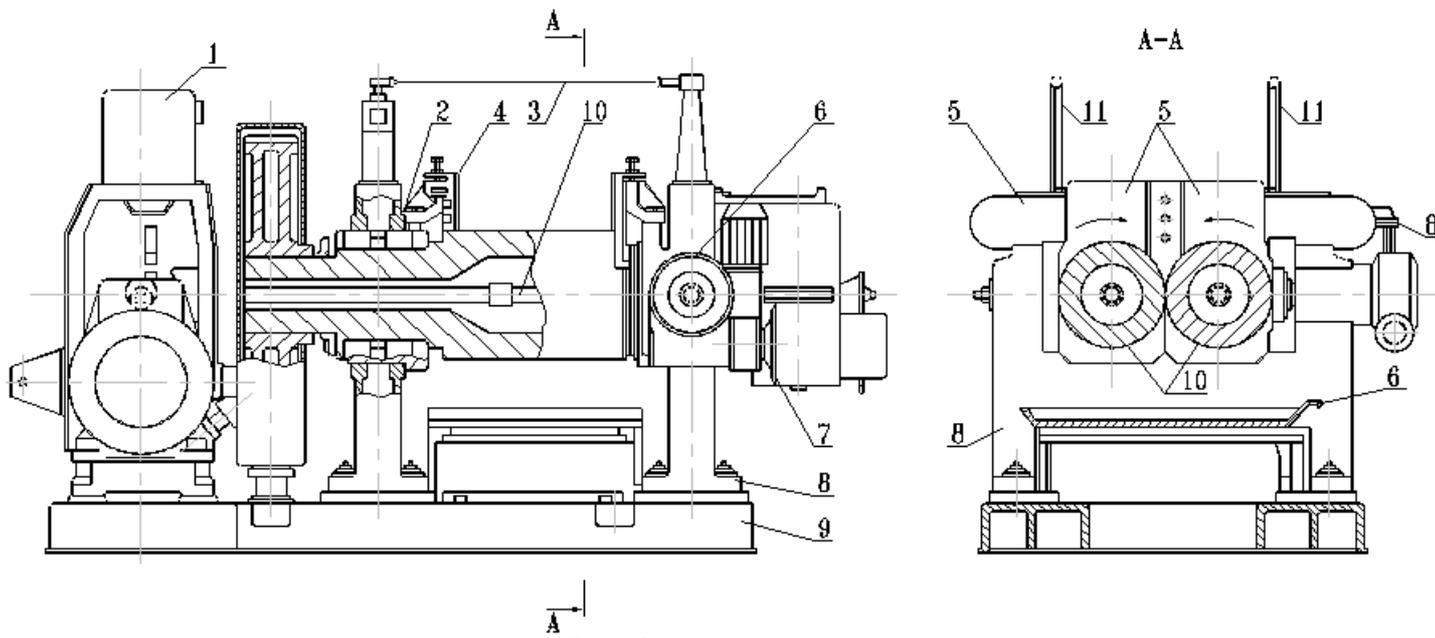


Рис. Общий вид вальцев.

1 - привод; 2 - подшипник; 3 - аварийные выключатели; 4 - механизм регулирования зазора; 5 - траверс; 6 - поддон; 7 - маховичок; 8 - станина; 9 - фундаментная плита; 10 - валки.

Каландры Принцип действия каландров

Каландрование – процесс, при котором размягченный полимерный материал пропускается через зазор между валками, расположенными в горизонтальной плоскости. При этом образуется бесконечная лента, толщину и ширину которой можно регулировать.

На каландрах осуществляются следующие технологические процессы: листование ткани, промазка ткани, изготовление профилированной ленты или полосы, тиснение поверхности материала, дублирование ткани или листов пластического материала, обработка поверхностей жестких материалов и удаление избыточной жидкой фазы из листов и лент жестких материалов.

Валков в каландре бывает два, три, четыре, пять и реже шесть (рис. 2).

Для дублировочных, тиснильных и листовальных операций, как правило, применяются двухвалковые каландры; для глажения и промазки – трехвалковые; для листования и универсальных технологических операции – трех- и четырехвалковые; для профилирования – четырехвалковые каландры.

У каландров, предназначенных для листования, дублирования, тиснения и профилирования, окружные скорости валков, как правило, одинаковы. У каландров для промазки фрикция необходима; она колеблется в пределах от 1,2 до 1,35 для каждой пары валков; наружные валки имеют близкие значения окружных скоростей, иначе говоря, от нижнего валка к среднему окружные скорости увеличиваются, а от среднего к верхнему уменьшаются.

В отличие от вальцов обрабатываемый на каландре материал проходит через зазор между валками в большинстве случаев однократно; поэтому почти всегда валки каландра выполняются одинакового диаметра в пределах одной машины.

По характеру изменения давления и зазора каландры делятся на каландры с постоянным зазором, с постоянным давлением и с переменным зазором и давлением.

В первом случае положение осей валков а, следовательно, величина зазора фиксируются жестко и могут несколько меняться только в результате деформации системы. При различной толщине втягиваемого в зазор материала, давление валков на материал меняется, возрастая с увеличением степени обжатия.

Во втором и третьем случаях в паре валков ось одного неподвижная, а ось другого имеет возможность поперечного перемещения за счет подвижных опор.

Для создания давления валка на материал применяются грузы, пружины, гидравлические устройства и т. п.

Следовательно, в этих случаях для достижения статического равновесия величина зазора будет меняться в процессе работы, пока реакции обрабатываемого материала на валки не будут уравновешивать опорные реакции.

Опорные силы могут иметь постоянную величину (например, при установке грузов или гидравлических цилиндров с жидкостью постоянного давления); тогда и общее давление валков на материал не будет зависеть от его начальной толщины при поступлении в зазор. Если же опоры подвижного валка упруги (при установке пружин, пневматических цилиндров и т. п.), то с изменением толщины материала зазор между валками будет меняться, и давление валков на материал также не останется постоянным; при увеличении начальной толщины материала зазор и давление возрастут, при уменьшении – снизятся.

Для листования, профилирования, обмазки и обкладки необходимы каландры с постоянным зазором; для тиснения, дублирования и глажения – с переменным зазором и постоянным давлением; для обкладки и глажения можно пользоваться схемой с переменным зазором и давлением.

Принцип работы каландров рассмотрим на схеме технологических процессов с треугольным расположением валков.

На каландре с треугольным расположением валков можно осуществлять одностороннюю обкладку корда (рис. 3, а), промазку тканей, листование резины и дублирование резиновых листов или прорезиненных тканей,

В зазор между валками 1 и 6 подается резиновая смесь и направляется в зазор, образованный валками 6 и 5. В этот же зазор между валками 5 и 6 через систему натяжных роликов 3, валик 4 и прижимной валик 2 подается корд или хлопчатобумажная ткань, подлежащая обкладке. На выходе из зазора корд с обкладкой через систему роликов 8 отводится с машины. При отводе с машины с помощью ножа 9 отрезаются кромки, которые при помощи приспособления 7 возвращаются в зазор между валками 1 и 6.

На рис. 3, б показана технологическая схема промазки тканей резиной. Отличительная особенность данной схемы – тормозное устройство 11 для подачи ткани в зазор между валками 5 и 6 и приводное приемное устройство 8, вращающееся от цепной передачи.

При листовании резины (рис. 3, в) применяется ролик 4 с дисковыми ножами для обрезки кромок и возврата их в зазор.

На рис. 3, г показана схема дублирования резиновых листов. При этом процессе применяется специальный прессовочный валик 5, через который подается резиновый лист или прорезиненная ткань; при отводе продублированного листа применяется ролик 4 с дисковыми ножами для обрезки кромок.

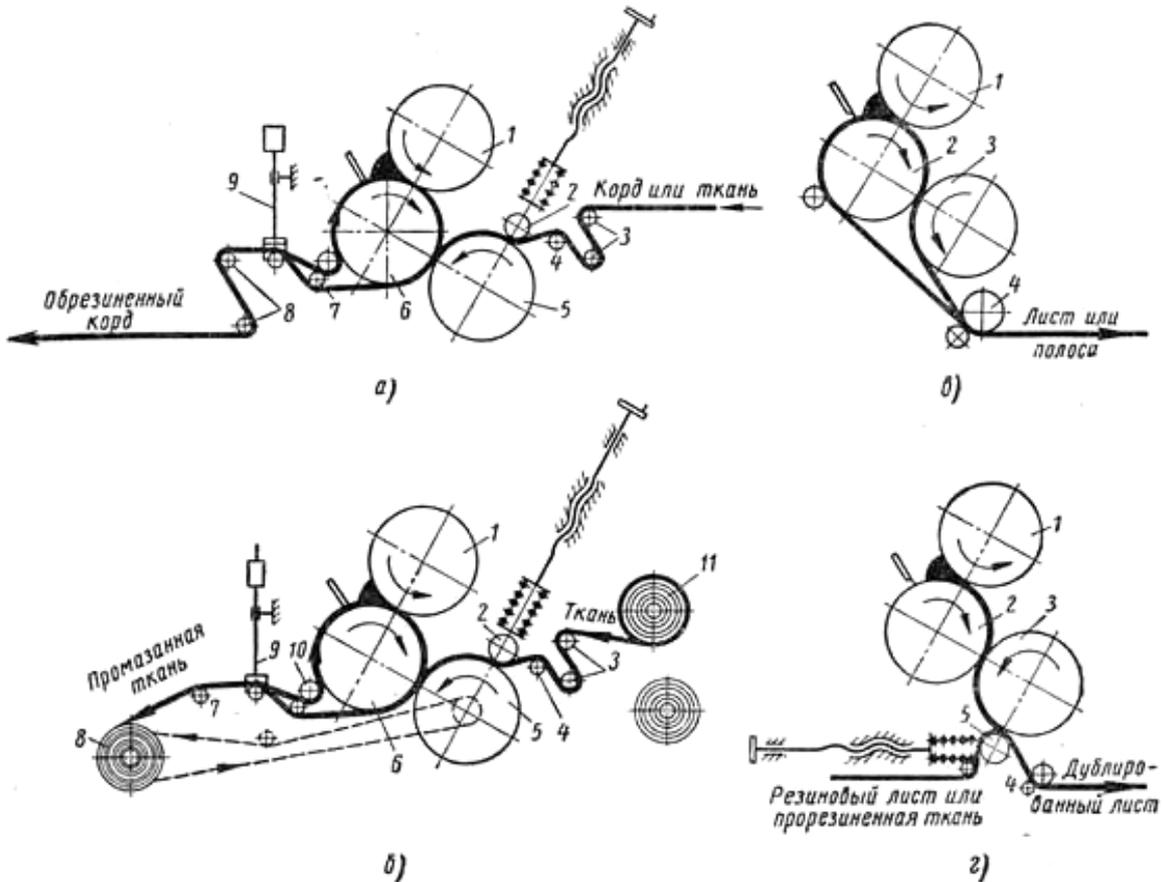


Рис. 3. Схемы процессов на треугольном каландре:

а — односторонней обкладки корда резиной (1, 5, 6 — валки; 2 — прижимной валик; 3 — натяжные ролики; 4 — валик; 7 — приспособление для возврата обрезанной кромки; 8 — отводные ролики; 9 — нож); *б* — промазки тканей (1, 5, 6 — валки; 2 — прижимной валик; 3 — натяжные ролики; 4 — валик; 7 — поддерживающий ролик; 8 — приемное устройство; 9 — нож; 10 — приспособление для возврата обрезанной кромки; 11 — тормозное устройство); *в* — листования (1, 2, 3 — валки; 4 — ролик с дисковыми ножами); *г* — дублирования резиновых листов (1, 2, 3 — валки; 4 — ролик с дисковыми ножами; 5 — прессовочный валик)

На каландре с S-образным расположением валков можно осуществлять двустороннюю обкладку металлотросового полотна; одностороннюю и двустороннюю обкладку тканей; одностороннюю и двустороннюю промазку тканей; листование резиновых смесей и дублирование.

Следует отметить, что впервые процесс каландрирования был разработан и применен в резиновой промышленности. В настоящее время каландрирование применяется в ряде отраслей промышленности для изготовления листов из различных материалов: бумаги, линолеума, металлов, пластмассы и резины.

В промышленности пластических масс каландрирование широко применяется при переработке поливинилхлорида, сополимеров винилхлорида и винилацетата, полиэтилена, ацетата целлюлозы и других полимеров.

Также в промышленности пластических масс каландрирование применяется при производстве пленок и листов из поливинилхлорида. Особый интерес представляет высокоскоростное изготовление тонких пленок однородной толщины. Пленки толщиной менее 0,05 мм и шириной до 1,8 м выпускаются со скоростью 180 м/мин при допуске на толщину $\pm 0,002$ мм.

Технологический режим зависит от жесткости каландра, температуры поверхности валков, их скоростей, свойств материала, степени его деформации в зазоре между валками, равномерности питания и распределения в зазоре.

ЧЕРВЯЧНЫЕ МАШИНЫ

В ХП широко распространены червячные машины. Они применяются для гранулирования и смешения материалов, профилирования и очистки полимеров и т.д. Червячные машины и установки отличаются большим разнообразием конструкций и типов и могут быть классифицированы по конструктивным и технологическим признакам.

Принцип работы червячной машины. Конструкции основных узлов.

Основные узлы червячных машин: корпус, червяк, головка. Главными характеристиками червяка являются диаметр и длина (рабочая). Под рабочей длиной червяка понимают его длину от передней стенки загрузочной воронки до конца нарезной части.

Обозначаются червячные машины следующим образом: ЧР- 90 - 5, где: 90 – диаметр червяка; 5 – отношение рабочей длины червяка к его диаметру.

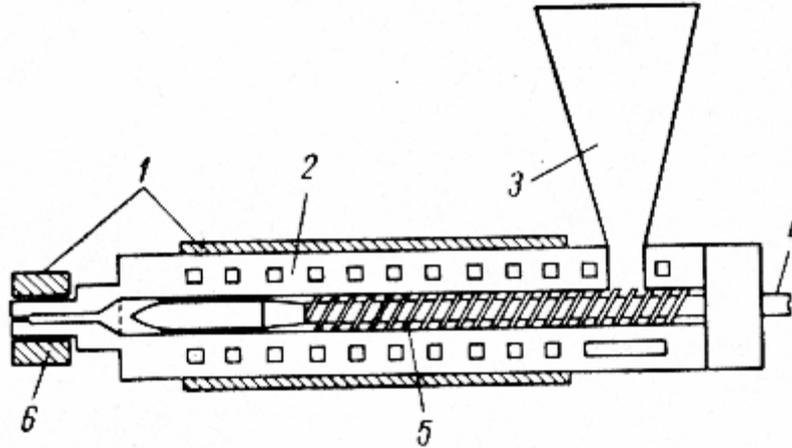


Рис. XI. 1. Схема экструзионной червячной машины:

1 — электрообогрев; 2 — цилиндр; 3 — бункер; 4 — приводной вал; 5 — червяк (шнек); 6 — головка

Червячная машина представляет собой (рис.) закрепленный на станине обычно обогреваемый цилиндр, в котором вращается один или несколько винтов (шнеков), с приводом от электродвигателя через систему передач (редукторы и вариаторы). Комплектующая технологическая оснастка включает головку с оформляющим мундштуком и приемное устройство для калибровки, охлаждения, оттягивания и намотки или резки изделий.



В зависимости от применения червячных машин для проведения тех или иных технологических процессов они выполняются в нескольких разновидностях (смесители-пластикаторы, пластикаторы-грануляторы и, наконец, собственно экструдеры). Для проведения всех необходимых операций (от подготовки композиции до выдавливания через оформляющий мундштук готового продукта) могут последовательно устанавливаться несколько специализированных червячных машин, например смеситель → пластикатор → гранулятор → экструдер.

Так же как одночервячные машины, многочервячные характеризуются отношением длины червяков к их диаметру. В зависимости от проводимого процесса и типа перерабатываемого материала это отношение может меняться в пределах от 8:1 до 30:1.

Многочервячные машины могут быть двух-, трех-, четырехчервячными, при этом наиболее широкое распространение получили двухчервячные машины. Чаще червяки двухчервячных машин располагаются в горизонтальной плоскости. Обычно червяки многочервячных машин находятся во взаимном зацеплении, т. е. витки одного червяка входят в винтовой канал другого. Этим обеспечивается самоочистка червяков и принудительное продвижение материала к головке. Условия переработки одно- и многочервячных машин аналогичны.

Основные параметры процесса экструзии.

Экструзия – это способ переработки полимерных материалов непрерывным продавливанием их расплава через формующую головку, геометрическая форма выходного канала которой определяет профиль получаемого изделия или полуфабриката.

Около половины производимых термопластов перерабатываются в изделия этим способом. Экструзией получают пленки, листы, трубы, шланги, капилляры, прутки, сайдинг, различные по сложности профили, наносят полимерную изоляцию на провода, производят многослойные разнообразных по конструкции и сочетанию применяемых пластмасс гибридные погонажные изделия. Переработка вторичного полимерного сырья и гранулирование также выполняются с применением экструзии.

К технологическим параметрам относятся температура переработки полимера, давление расплава, температура зон головки и температурные режимы охлаждения сформованного экструдата.

При слишком высокой вязкости расплава получать изделия методом экструзии трудно из-за большого сопротивления течению расплава, возникновения неустойчивого режима движения потока. Все это приводит к образованию дефектов изделий.

Повышение температуры переработки может привести к термодеструкции расплава, а увеличение давления, мощности привода при более низких температурах - к механодеструкции, т.е. для экструзии расплавов должны применяться полимеры с довольно узким интервалом колебания вязкости.

Основными технологическими характеристиками одношнекового экструдера являются L , D , L/D , скорость вращения шнека n , геометрический профиль шнека (см. рис.3) и степень сжатия (компрессии) – отношение объема одного витка червяка в зоне загрузки к объему одного витка в зоне дозирования.

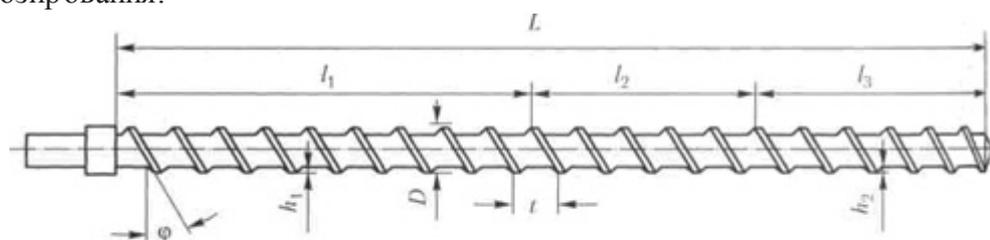


Рис. 3. Схема зонной конструкции шнека

Короткошнековые экструдеры имеют $L/D = 12-18$, длинношнековые $L/D > 30$. Наиболее распространены экструдеры с $L/D = 20-25$.

Показателем работы экструдера является его эффективность- отношение производительности к потребляемой мощности.

Производительность

В межвитковом пространстве расплав имеет ряд потоков, основными из которых являются продольный и циркуляционный. Величина продольного (вдоль оси шнека) потока определяет производительность экструдера Q , а циркуляционного - качество однородности полимера или смешения компонентов.

В свою очередь продольный поток складывается из трех потоков расплава: прямого, обратного и потока утечек.

Прямой поток вызван движением шнека в направлении формующей головки. Обратный поток – это воображаемое течение, вызываемое высоким давлением со стороны головки; в реальности не существует. Поток утечки происходит при перетекании расплава между цилиндром и гребнем червяка.

Производительность Q экструдера с учетом распределения скоростей различных потоков составляет

$$Q = Q_{пр} - Q_{обр} - Q_{ут},$$

где $Q_{пр}$, $Q_{обр}$, $Q_{ут}$ - производительности экструдера от прямого потока, противотока и утечек расплава соответственно.

$$Q = \alpha n - \beta \cdot (\Delta P) / (\mu \cdot L),$$

где n - частота вращения шнека; ΔP - давление на выходе из шнека (в конце зоны III); μ - эффективная вязкость расплава; L - длина шнека; α - константа скорости прямого потока, β - константа скорости обратного потока, которые зависят от геометрических параметров шнека.

Материалы. Большинство термопластов и композиций на их основе могут перерабатываться экструзией. Для этого достаточно, чтобы время пребывания расплава в экструдере при данной температуре было меньше времени термостабильности полимера при той же температуре. Наиболее широко применяется экструзия крупнотоннажных полимеров следующих типов. ПЭ, ПП, ПС ПК ПА, ПВХ (пластифицированный и непластифицированный), ПЭТФ а также смеси с неорганическими и полимерными наполнителями и более сложные композиции на их основе.

Для экструзии применяются материалы и режимы переработки при которых ПТР меняется в пределах 0,3 - 12 г/10 мин, т.к. из маловязких расплавов невозможно получить сплошную экструзионную заготовку в виде пленки, трубы, профиля. Если же используются литьевые марки полимера, то из них можно получить экструзией лишь отдельные типы изделий, так как ПТР у них находится в пределах 0,8 - 20 г/10 мин.

Так, трубы, кабельные покрытия производят из расплава полимера с ПТР от 0,3 до 1 г/10 мин. Это связано с выбором полимера большой молекулярной массы. Последняя определяет эксплуатационные свойства изделий - повышенные физико-механические характеристики.

Пленки, листы изготавливают экструзией расплава с ПТР в пределах 1 - 4 г/10 мин.

Дискретные изделия, производимые экструзией расплава с последующим раздувом в форме, получают из расплава с ПТР = 1,5 - 7,0 г/10 мин.

Ламинирование с помощью экструзии происходит при ПТР расплава в пределах 7 - 12 г/10 мин.

Изделия. Все изделия, получаемые на основе термопластов методом экструзии, могут иметь в принципе неограниченную длину. Поперечник изделий ограничивается главным образом диаметром шнека экструдера. Чем больше D , тем шире, толще могут получаться изделия.

Червяки

Конструкция червяков может иметь несколько отдельных зон, отличающихся геометрией винтового канала.

Для переработки полиэтилена высокого и низкого давления, полипропилена, нейлона, капрона червяк должен иметь три зоны: зону питания и сжатия с постоянной глубиной винтового канала и зону дозирования с переменной глубиной.

Для переработки полихлорвиниловых композиций, полистирола червяки должны иметь две зоны: зону дозирования с постоянной глубиной винтового канала, зону питания и сжатия с переменной глубиной.

Для проведения работ, связанных с дегазацией и обезвоживанием перерабатываемого материала в расплаве, червяк должен иметь две соответствующие ступени.

Величина степени сжатия должна быть согласована с типом перерабатываемого материала, насыпным весом исходного продукта, скоростным режимом работы машины и видом выдавливаемого профиля.

Для материалов, относящихся к группам полиолефинов и полиамидов, рекомендуются большие степени сжатия.

Для изделий, профилирование которых требует развития высоких давлений в головках машины (кабельные изделия, пленки), рекомендуется применять меньшие значения степени сжатия. Степень декомпрессии (отношение объемов винтовых каналов на участках одного шага в зоне дегазации и в зоне выдавливания первой стадии червяков, предназначенных для дегазации и обезвоживания) рекомендуется от 3 до 5.

Глубина винтового канала зоны выдавливания второй ступени червяков, предназначенных для дегазации и обезвоживания расплава, должна быть на 25÷50% больше глубины нарезки зоны выдавливания первой стадии.

Шаг винтовой линии червяка t рекомендуется принимать равным диаметру червяка и постоянным по длине червяка: $t = (0,8 \div 1,2) D$.

Варианты конструктивных исполнений конца червяка изображены на фиг. .

Червяки с тупым или торцованным концом (фиг. *а, ж* и *з*) обычно создают пульсирующее течение потока расплава и возможность подгорания материала в мертвых зонах. Эти окончания червяков в большинстве случаев применяются в сочетании с цилиндрическим входным отверстием в головку.

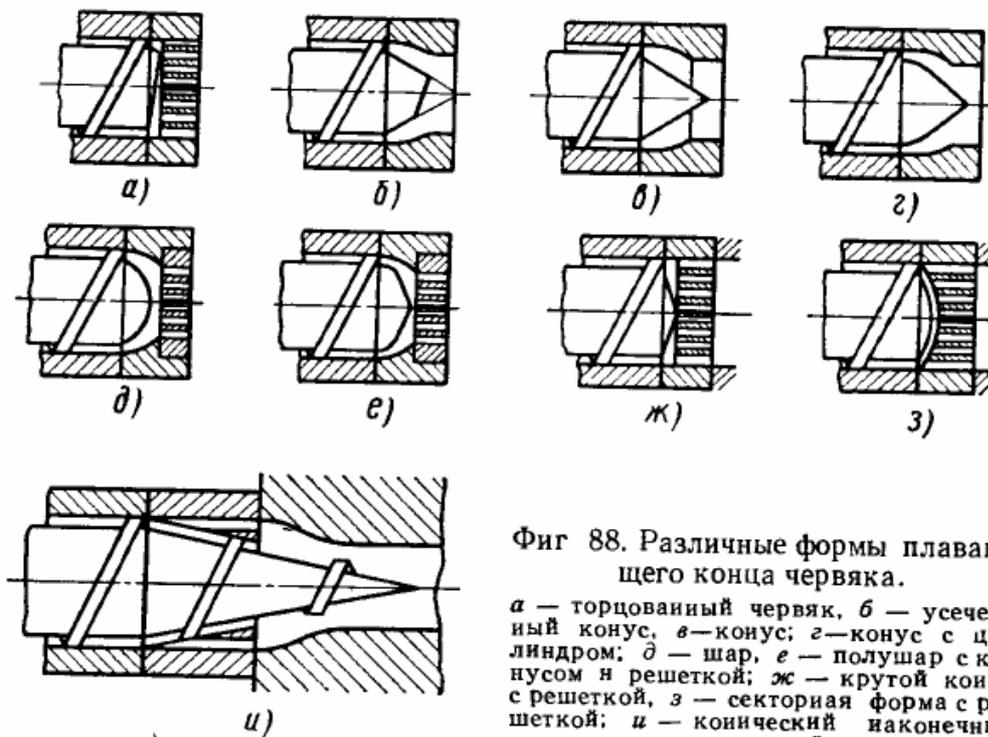
Устранить эти основные недостатки торцованных червяков позволяют в какой-то мере формы окончания, приведенные на фиг. *б, в* и *г*.

Нужно сказать, что цилиндрические торпедные головки или заменяющие их окончания червяков в виде изображенных на фиг. *д* и *е* улучшают смешение и гомогенизацию выходящей массы из червяка. Конические окончания червяка (фиг. *и*) приводят к повышению теплосодержания в выходящем расплаве.

При применении торпедных головок имеется стремление создавать минимальные зазоры между корпусом и червяком (минимальные по сравнению с торцованными червяками).

Насадки или специальные формы конца червяка подобно изображенной на фиг. *б* с косым срезом конуса применяются также с целью повышения давления выдавливания.

Основное назначение форм конца червяка заключается в подводе расплава к профилирующей головке наиболее равномерно, т. е. без задержки отдельных его частей на длительное время в мертвых зонах.



Фиг 88. Различные формы плавающего конца червяка.

а — торцованный червяк, *б* — усеченный конус, *в* — конус; *г* — конус с цилиндром; *д* — шар, *е* — полушар с конусом и решеткой; *ж* — крутой конус с решеткой, *з* — секторная форма с решеткой; *и* — конический окончание с нарезкой.

Почти у всех конструкций червяков внутри имеется полость, предназначенная для охлаждения или нагрева червяков.

В полость подводится жидкий теплоноситель или охлаждающая жидкость, а в случае электрообогрева отверстие в червяке используется для ввода нагревательных элементов.

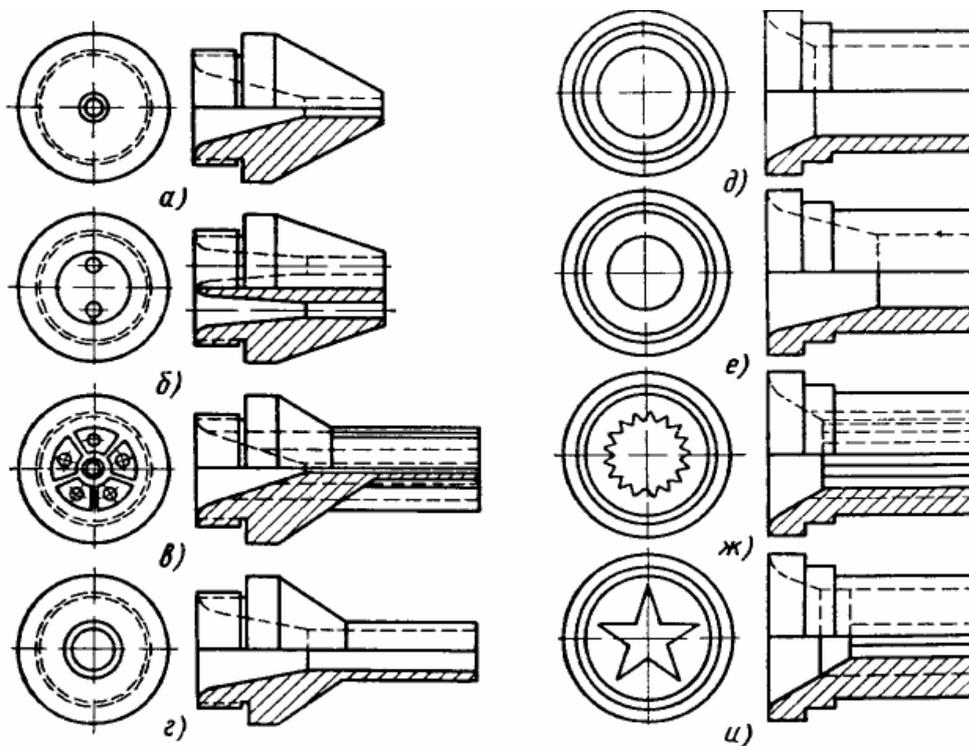
В обычных конструкциях червяков внутренняя полость используется; для охлаждения червяка с целью уменьшения коэффициента трения; между червяком и материалом по сравнению с коэффициентом трения; между материалом и корпусом.

Конструкции дорнов

Дорн представляет собой деталь, имеющую с одной стороны форму конуса с углом при вершине порядка 10° , а с другой стороны имеет нарезанную цилиндрическую часть, с помощью которой он крепится в дорнодержателе.

Дорн (см. рис. в) предназначен для образования в изоляции продольных каналов для циркуляции воздуха. Для этой цели внутри дорн разделен радиальными разрезами на несколько частей, позволяющих выдавливать кабель в виде каркаса.

Дорн (см. рис. г) предназначен для получения изоляции в виде свободной трубки поверх провода. Эта изоляция получается за счет удлиненного конуса, который выступает в матрицу на большую длину, чем при плотном выдавливании.



Конструкции дорнов и матриц для наложения изоляции на провода и кабели

а — одноручьевый дорн для симметричного кабеля, *б* — двухручевый дорн для коаксиального кабеля, *в* — дорн для производства каркасной изоляции, *г* — дорн для специальных видов изоляции; *д* — матрица для изготовления кабеля со сплошной изоляцией, *е* — матрица для получения кабеля с изоляцией повышенной плотности, *ж* — матрица для изоляции с продольными ребрами
и — матрица для изоляции специального профиля

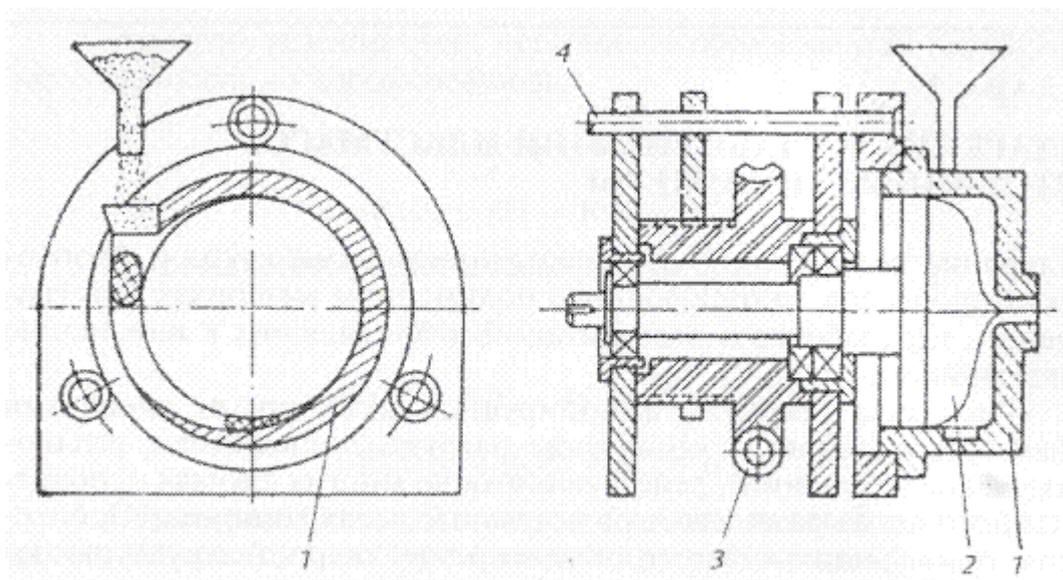
Дисковый экструдер

В отдельных случаях применяются бесшнековые, или дисковые, экструдеры, в которых рабочим органом, продавливающим расплав в головку, является диск особой формы. Движущая сила, продавливающая расплав, создается в них за счет развития в расплаве нормальных напряжений, направленных перпендикулярно касательным (совпадающим с направлением вращения диска). Дисковые экструдеры применяются, когда необходимо обеспечить улучшенное смешение компонентов смеси. Из-за невозможности развивать высокое давление формования такие экструдеры применяются для получения изделий с относительно невысокими механическими характеристиками и небольшой точностью размеров. Полимеры, перерабатываемые на дисковых экструдерах, должны иметь повышенную термостабильность расплава. Применяют для смешения, окрашивания или грануляции термопластов.

Устройство и схема

Дисковый экструдер состоит из корпуса 1, внутри которого помещен диск 2. Рабочий зазор регулируется червячной передачей 3, перемещающей установленный на шарикоподшипниках диск 2 по трем направляющим 4. В поперечном сечении диск имеет форму улитки при тангенциальном расположении загрузочной воронки. При течении полимерного расплава между неподвижным корпусом и вращающимся диском происходит перетирание смешиваемой массы тем более интенсивное, чем меньше зазор между корпусом и диском. Полимерный расплав обладает значительной упругостью, вследствие чего при сдвиге между диском и корпусом возникают нормальные напряжения (перпендикулярные сдвиговым), которые и выдавливают расплав в формирующее отверстие головки. (Поэтому дисковый экструдер называют также экструдером нормальных напряжений.) Сдвиг в тонком зазоре обеспечивает высокое качество смешения. Отсутствие застойных зон также способствует улучшению качества смешения и уменьшению перегревов. Не-

достаток дискового экструдера заключается в том, что нормальные напряжения не обеспечивают достаточного давления на выходе, что снижает качество получаемых профилей. Для повышения давления на выходе в некоторых конструкциях экструдеров диск соединен с коротким шнеком, который также осуществляет принудительную подачу материала в зазор.



1 — корпус; 2 — диск; 3 — червячная передача; 4 — направляющие

Литьевые машины.

Одним из самых распространенных методов переработки термопластов является метод литья. Повышенная вязкость этих продуктов и высокие требования к качеству литья обуславливают целесообразность ведения этого процесса под давлением. Типичными литьевыми пластиками, переходящими в вязко-текучее состояние при сравнительно низких температурах ($440^{\circ}\div 540^{\circ}$ К), являются полистирол, композиции на его основе, сополимеры полистирола, ацетил-целлюлозный этрол, полиэтилен, поликапролактан (капрон) и другие полиамиды, пластифицированный полихлорвинил, и т. п. Кроме того, литьем под давлением производят изделия армированные, гибридные, полые, многоцветные, из вспенивающихся пластиков и др. Метод позволяет формировать изделия массой от долей грамма до десятков килограммов.

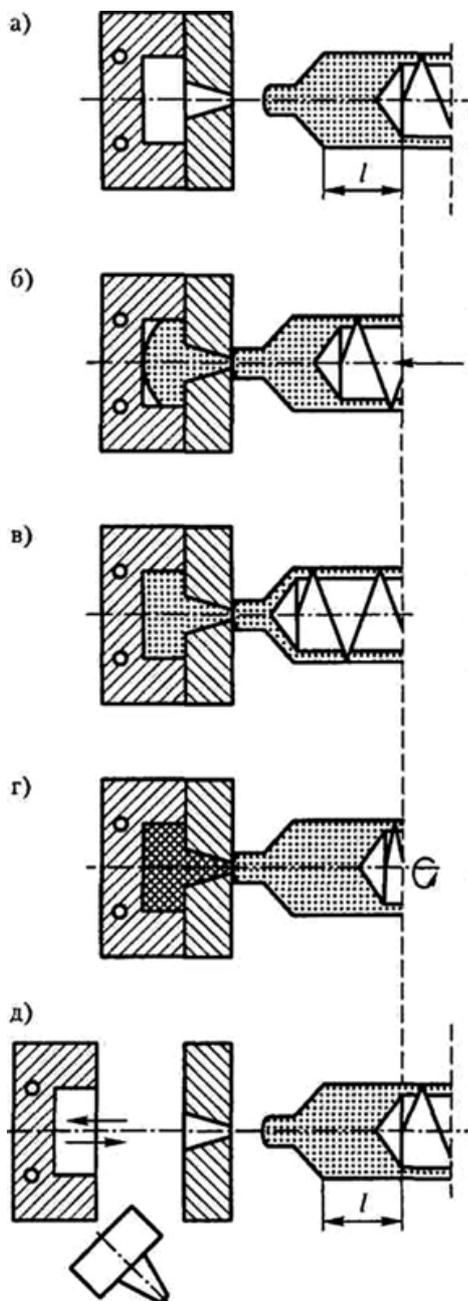
К методам литья термопластов под давлением в широком смысле этого слова относятся «центробежное литье», при котором относительно небольшое давление создается в самой литьевой форме и собственно «литье под давлением» (до $15\ 000\ \text{Н/см}^2 = 150\ \text{МПа}$) с помощью специальных литьевых машин (термопластавтоматов), снабженных прессующим органом поршнем или червячным винтом.

Область применения метода центробежного литья и соответствующих машин ограничена формой изделий (полые тела вращения – кольца, трубы, втулки и т. п.) и небольшими значениями минимально необходимого давления на материал в процессе его охлаждения и отверждения (не более $40\div 50\ \text{Н/см}^2$). Конструируемые для этой цели машины обычно состоят из двух отдельных узлов – плавителя-дозатора и собственно центробежной машины горизонтального или вертикального типа, в патроне или в плланшайбе которой устанавливается форма для заливки расплава.

Литье под давлением – процесс, во время которого материал переводится в вязко-текучее состояние и затем впрыскивается под давлением в форму, где происходит оформление изделия.

Литье под давлением применяется также при переработке реактопластов, однако преимущественно не с помощью литьевых машин, а на специальных литьевых прессах.

Принципиально, суть технологии литья под давлением состоит в следующем (рис. 1). Расплав полимера подготавливается и накапливается в материальном цилиндре литьевой машины (в



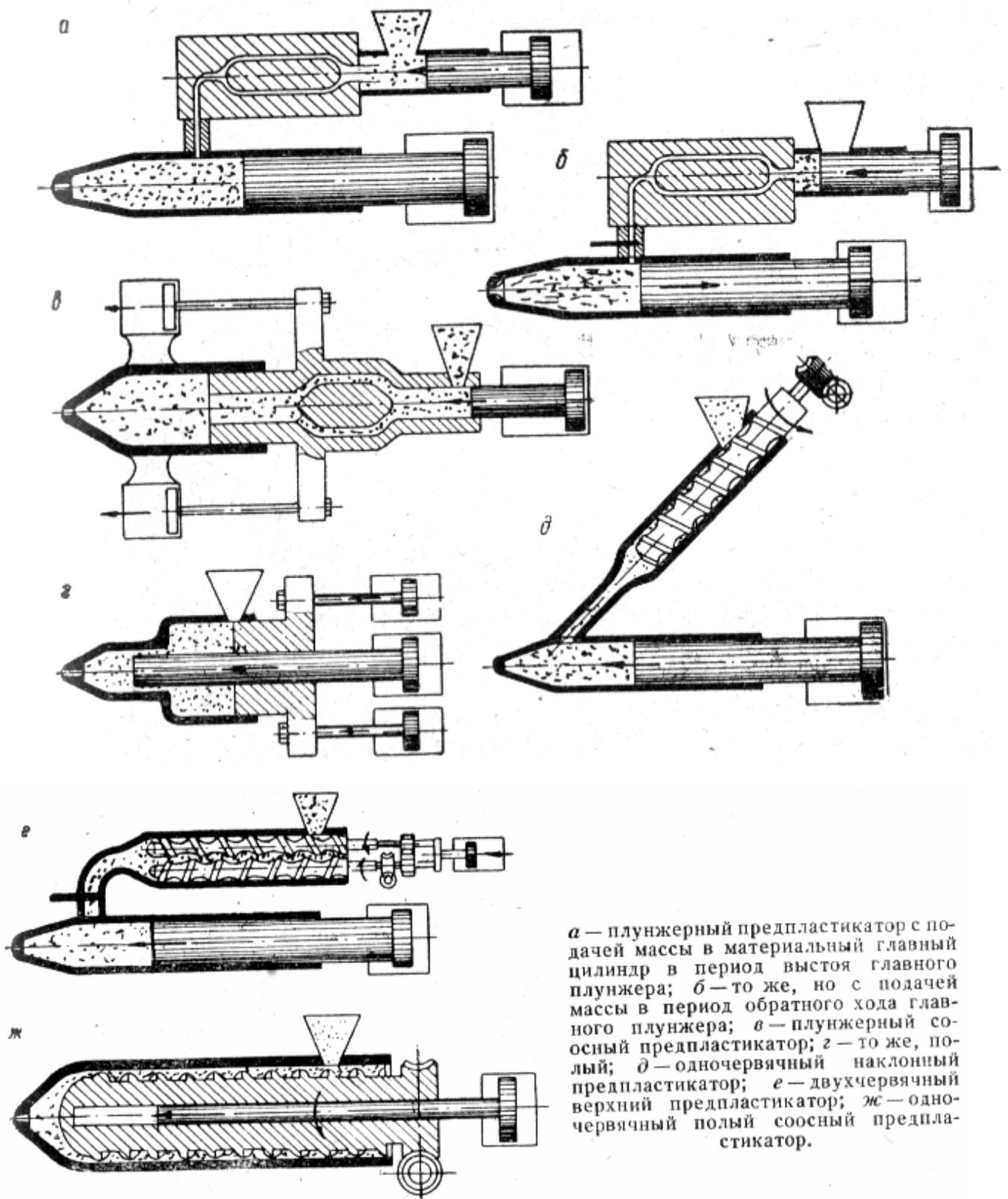
данном случае – червячного типа) к дальнейшей подаче в сомкнутую форму (позиция а). Затем материальный цилиндр смыкается с узлом формы, а пластикатор (в нашем случае - невращающийся червяк) в процессе осевого движения перемещает расплав в форму (позиция б). В результате чего форма заполняется расплавом полимерного материала, а пластикатор смещается в крайнее левое (на рисунке) положение (позиция в). Далее расплав в форме застывает (или отверждается – в случае реактопластов) с образованием твердого изделия (позиция г). Материальный цилиндр продолжает оставаться в сомкнутом с системой формы положении. В этой ситуации червяк начинает вращаться с заданной скоростью, подготавливает и транспортирует расплав в переднюю зону материального цилиндра и при этом отодвигается назад. В конце накопления требуемого объема расплава вращение червяка прекращается. Он занимает исходное положение. После завершения процесса затвердевания (отверждения) пластмассы форма размыкается, и изделие удаляется из нее (позиция д). Для облегчения съема изделия материальный цилиндр может к этому моменту отодвинуться от узла формы. Далее цикл литья под давлением повторяется.

Конструкции литьевых машин весьма многообразны, но каждая из них включает основные элементы:

1. инъекционная часть (или узел впрыска), состоящая из устройства для дозирования материала и пластикатора для размягчения гранулированного или порошкообразного материала;
2. узел запирания, включающий устройства для перемещения литьевой формы, удержания ее в сомкнутом состоянии и выталкивания отливки из полости формы.

Литьевые машины снабжены аппаратурой для управления технологическим режимом и устройствами, обеспечивающими безопасность работы (системы электрической и механической блокировки и др.). Кроме того, машины можно оснащать устройствами для автоматической подачи гранулированного материала в бункер литьевой машины, смены инструмента, термостатирования литьевой формы, манипуляторами для съема изделий и др.

Широкое внедрение в различные отрасли промышленности разнообразных по свойствам полимерных материалов, отличающихся параметрами режима переработки (увеличение крутящий момент при пластикации, давления литья и формования), заставило изготовителей литьевого оборудования производить машины, универсальные по приводу и специализированные по перерабатываемым материалам. Это привело к комплектованию литьевой машины несколькими пластикаторными устройствами с различными диаметрами шнека, обеспечивающими различные объемы впрыска за цикл и развиваемое давление литья.



a — плунжерный предпластикатор с подачей массы в материальный главный цилиндр в период выстоя главного плунжера; *б* — то же, но с подачей массы в период обратного хода главного плунжера; *в* — плунжерный соосный предпластикатор; *г* — то же, полый; *д* — одночервячный наклонный предпластикатор; *е* — двухчервячный верхний предпластикатор; *ж* — одночервячный полый соосный предпластикатор.

Прессы, назначение, классификация. Конструкции основных узлов. Конструкции прессформ.

Несмотря на то, что прессование термопластов утратило свое монопольное положение, из-за широкого применения литья под давлением, экструзии на червячных машинах, пневмо- и вакуум-формования, и др., многие марки пластиков производятся в основном на прессах, которые в настоящее время находят применение в следующих производствах:

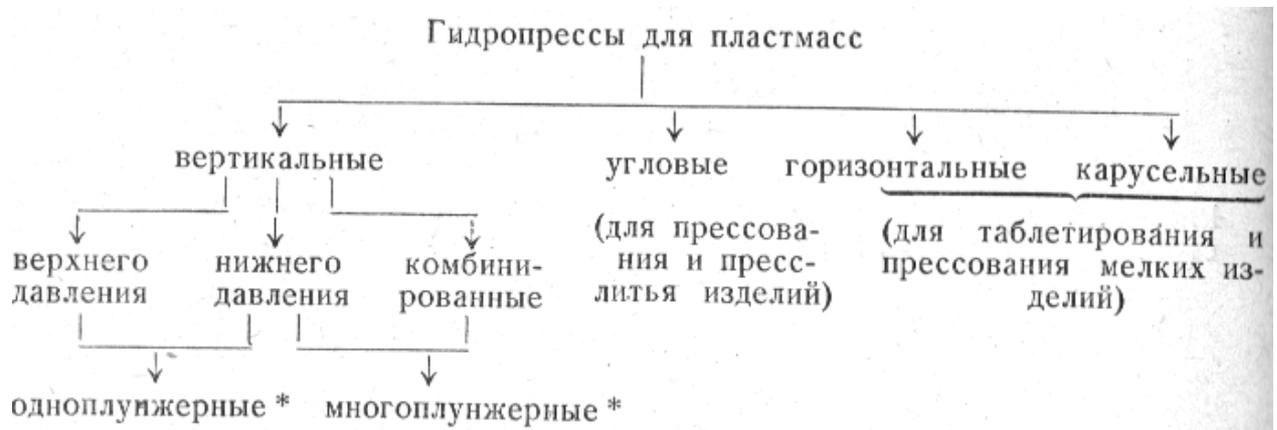
- 1) изделий из пресс-порошков, главным образом на основе фено- и аминопластов;
- 2) листовых слоистых пластиков (текстолит, стеклотекстолит, древлпластик, гетинакс и т. п.);

- 3) листов (а частично и труб) из винипласта, целлулоида, фторопласта и др.;
- 4) целлулоида и ацетатцеллюлозного этрола – для фильтрации масс и на других операциях;
- 5) поропластов – для получения пластин и блоков;
- 6) некоторых видов изделий из стеклопластиков и некоторых марок текстолита (так называемое повторное прессование);
- 7) ряда изделий из некоторых марок термопластов (так называемое «ударное прессование» винипласта);
- 8) граммпластинок из полихлорвинильных композиций;
- 9) некоторых выдувных изделий (например, целлулоидных изделий), причем в ряде случаев прессование сочетается с пневмо-или вакуумформованием.

Важнейшими характеристиками прессов являются: прессующее усилие (тоннаж) в килоньютонах, размеры и площадь стола, ход стола или подвижных плит и предельно возможное число ходов в единицу времени. (Как правило, тоннаж пресса и площадь его стола являются величинами взаимозависимыми, исключение в этом смысле составляют прессы для штампования крупногабаритных изделий из листа).

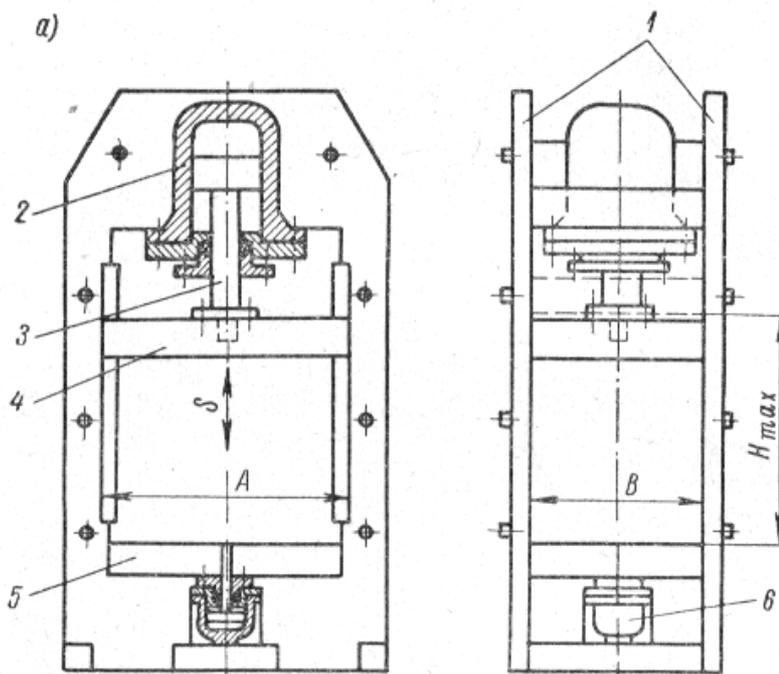
Классификация и конструкции гидравлических прессов:

I. Исходя из функционального назначения (областей применения), гидравлические прессы можно классифицировать следующим образом:



* Подразумевается главный плунжер.

II. По конструкции каркаса различают колонные и рамные прессы



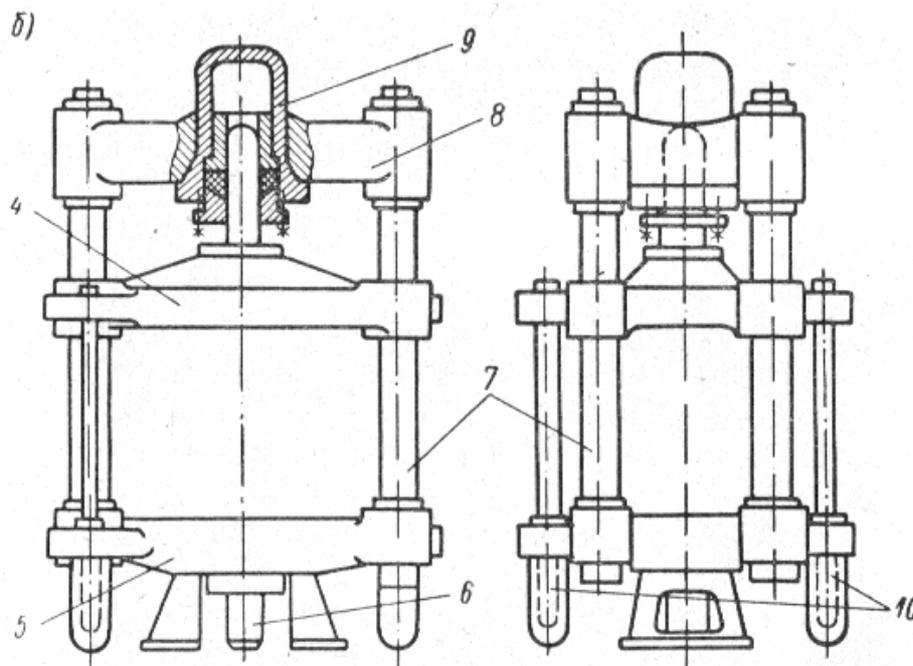


Рис. XII. 1. Гидравлические прессы верхнего давления: *а* — в рамном исполнении с дифференциальным главным цилиндром и выталкивателем; *б* — в колонном исполнении с главным цилиндром простого действия, выносными возвратными цилиндрами и выталкивателем:

1 — рамы; 2 — главный цилиндр; 3 — дифференциальный плунжер; 4 — подвижная плита (ползун); 5 — стол; 6 — цилиндр выталкивателя; 7 — колонна; 8 — архитрав; 9 — цилиндр простого действия; 10 — возвратные цилиндры

III. По способу осуществления обратного хода подвижного стола:

- 1) прессы без гидравлического возврата (возможны только в исполнении с нижним давлением),
- 2) прессы с особыми возвратными цилиндрами
- 3) прессы с дифференциальным главным плунжером.

Прессы большинства моделей снабжаются дополнительно гидравлическим выталкивателем готовых изделий.

Номинальное прессующее усилие (тоннаж) прессы в N равно:

$$Q = p \cdot F,$$

где p — давление жидкости в цилиндре, н/м^2 ;
 F — площадь сечения плунжера, м^2 .

Величина этого усилия должна быть достаточной для преодоления полезного сопротивления, которое с учетом вредных сопротивлений трения движущихся частей прессы

$$Q = qf = pF\eta,$$

q — экспериментально найденное необходимое удельное давление (в н/м^2) на единицу площади проекции прессуемого изделия (на плоскость, перпендикулярную оси плунжера), зависящее от марки продукта, конфигурации изделия и др.;

f — площадь проекции изделия (в м^2).

полезное усилие прессования составит:

η — статический к. п. д. прессы всегда < 1 .

Раздувочные и формовочные машины. Ротационное формование.

Формование изделий

Формование изделий на внутренней поверхности формы может осуществляться несколькими способами: термоформованием (вакуум- и пневмо-формование), ротационным формованием, выдувным формованием предварительно экструдированной заготовки (экструзионно-выдувное формование) и штамповкой.

Вакуумформование

Вакуумформование – процесс формования изделий из заготовок в виде пленки или листа, нагретых до температур, при которых полимер переходит в высокоэластическое состояние. Давление, необходимое для формования изделий, создается за счет разности давлений между наружным атмосферным давлением и разрежением, создаваемым в полости между листом и поверхностью формы (до 0,07-0,085 МПа).

Основная особенность этого способа переработки полимерных материалов заключается в том, что формование изделий осуществляется не из расплава, а из заготовок полимерного материала (листа, пленки), нагретых до размягченного состояния, которые затем приложенным усилием оформляются в изделия и затем охлаждаются при сохраняющемся усилии формования.

Методом формования изготавливают изделия различной конфигурации, имеющие одинаковую толщину всех стенок (стаканчики, крышки, ячейки для упаковки конфет или медицинских инструментов и т.д.). Широко применяется вакуумформование для изготовления тонкостенных изделий (упаковочная тара и одноразовая посуда), когда литье под давлением неприменимо из-за малой толщины стенок. Очень выгодно использовать данный метод при мелкосерийном производстве, так как технологическая оснастка намного проще и дешевле, чем литьевые формы.

Существенными преимуществами этого метода являются рентабельный инструмент для формования, разумная стоимость вакуумформовочных машин, возможность переработки многослойных и вспененных материалов, а также материалов с предварительно нанесенной на них печатью.

Достоинства вакуумформования для больших партий состоит в достижении очень низких толщин стенок и высокой производительности вакуумформовочных машин.

Самые маленькие по размеру детали, производство которых вакуумформованием еще экономически выгодно, это упаковка для таблеток или батареек для часов.

Недостатками метода являются:

- значительная разнотолщинность изделий, обусловленная различной степенью вытяжки;
- невозможность получения изделий сложной конфигурации;
- необходимость дополнительной механической обработки изделий;
- невозможность переработки листов толщиной более 6 мм;
- большое количество отходов (до 50%) при изготовлении изделий с большой глубиной вытяжки.



Диапазон толщин формуемых материалов от 0,05 до 15 мм, а для вспененных материалов даже до 60 мм. Любые термопласты или материалы с аналогичными свойствами являются в принципе термоформуемыми. Наибольшее распространение получили листы крупнотоннажных полимеров: ударопрочного полистирола, АБС-пластика, жесткого ПВХ, аморфного ПЭТ. Поликарбонат, ПММА, ПЭНД и ПЭВП, ПП имеют менее широкое применение.

При вакуумформовании различают следующую последовательность процессов:

- 1) нагревание формуемого материала до температуры, при которой он способен изменять форму, то есть до температуры высокоэластического состояния (для аморфных полимеров) или до температуры приближенной к плавлению кристаллической фазы (для кристаллизующихся полимеров);
- 2) формование на специальной оснастке;
- 3) охлаждение в форме до температуры, при которой конфигурация отформованного изделия приобретет стабильные размеры;
- 4) извлечение из формы изделия со стабильными размерами.

В большинстве случаев необходима последующая обработка формованного изделия, а именно: отделка (обрезка); сварка; соединение (склеивание); горячее запаивание; печать; металлизация.

Температура формующего инструмента (матрицы, пуансона, прижимных рам) должна быть ниже температуры размягчения полимера. Излишнее снижение температуры способствует росту дефектности (морщины, складки), брака (коробление) и усадки; увеличивается доля неотрелаксировавших напряжений; при увеличении T_f выше оптимального значения происходит другое нежелательное явление: увеличивается разнотолщинность стенок изделий. Поэтому температура формы не должна быть ниже 50-70 °С, а для ускорения процесса охлаждения и повышения производительности целесообразно использовать дополнительное воздушное охлаждение или охлаждение с помощью искусственного водяного тумана.

В зависимости от характера взаимодействия формируемого материала с формой различают свободное негативное и позитивное формование листовых заготовок.

Свободное формование осуществляется без соприкосновения формируемого материала заготовки с оформляющим инструментом. Его применение ограничено изготовлением из прозрачных акрилатов крупногабаритных изделий овальной формы для обтекателей и световых фонарей с улучшенными оптическими характеристиками. При использовании метода требуется высокая равномерность нагрева заготовки с минимальной разнотолщинностью - в противном случае искажается форма изделия и его оптические характеристики. Кроме того, применение свободного формования ограничивает и глубину вытяжки.

Негативное формование (формование в матрице) позволяет получать изделия, у которых наружная поверхность соответствует геометрии внутренней поверхности матрицы. Нагретая заготовка вначале деформируется свободно, и ее толщина уменьшается относительно равномерно, однако после соприкосновения с формой температура заготовки в этой области резко понижается и дальнейшее деформирование идет неравномерно - толщина стенок и днища оказывается различной. Значительная разнотолщинность - один из существенных недостатков негативного метода формования.

Позитивное формование осуществляется на пуансоне; форму внешней поверхности пуансона повторяет внутренняя поверхность изделия. Нагретая заготовка первоначально соприкасается с верхней поверхностью пуансона; деформация этой зоны прекращается, поэтому образующееся днище имеет наибольшую толщину. Вытяжка остальной части заготовки происходит более равномерно, но, как и при негативном формовании, получение изделия большой глубины и с острыми углами затруднительно.

Наиболее важные характеристики формы — глубина и степень вытяжки, которые обеспечивает конструкция формы. Практически этими параметрами являются высота изделия H и отношение H/W , где W — ширина изделия.

Основная особенность оснастки для этого метода – наличие отверстий диаметром 0,1 – 0,5 мм или щелей в местах перегибов конфигурации изделия. Это необходимо для отвода воздуха при вакуумировании.

Охлаждение происходит при соприкосновении заготовки с холодными стенками формы. Для ускорения этой стадии применяют обдув изделия сжатым воздухом. В зависимости от метода формования и конструкции формы, охлаждение бывает односторонним или двухсторонним.

Извлечение изделий можно проводить сжатым воздухом или с помощью выталкивателей.

На заключительном этапе отформованные заготовки подвергают механической обработке: вырубке из листа отдельных изделий, зачистке, пробивке (или сверлению) отверстий и т. д. С этой целью используют механические и гидравлические прессы, ножницы, специальные штампы (холодные и горячие), ленточные или дисковые зачистные станки.

Вакуумформование имеет несколько разновидностей.

Вакуумформование в матрицу: листовую заготовку укладывают на матрицу, закрепляют прижимной рамой и подводят нагреватель.

После разогревания листа включают вакуум, между листом и матрицей создается разрежение и происходит формование изделия. При этом заготовка прижимается плотно к стенкам матрицы и охлаждается. Затем вакуум отключают, а к матрице подводят сжатый воздух, происходит выталкивание изделия. При формовании в матрицу края изделий имеют наибольшую толщину стенок, а на днище - минимальную. Данный метод применяется при формовании в многогнездные формы.

Вакуумформование с вытяжкой толкателем. В отличие от рассмотренного способа, в начале происходит вытяжка разогретого листа толкателем, а затем формование в матрицу под действием вакуума.

Применяется этот способ при изготовлении глубоких изделий, когда нужна незначительная разнотолщинность стенок при использовании как одногнездных так и многогнездных форм.

Вакуумформование на пуансоне. Лист закрепляют между двумя рамами, затем подводят нагреватель

После нагревания заготовки поднимается пуансон, закрепленный на поддоне, и происходит предварительная вытяжка. При этом пуансон выполняет роль толкателя. Окончательное оформление изделия выполняется на пуансоне под действием вакуума. В данном случае совмещены две операции - вытяжка и формование, которые проводятся на пуансоне, и не требуется специального толкателя. Однако пуансон при этом должен иметь повышенную температуру, поэтому охлаждение изделия замедляется.

Этот способ находит широкое применение в тех случаях, когда необходимо обеспечить точность внутренних размеров изделия. При формовании на пуансоне наибольшая толщина стенки обеспечивается на днище. Применяется он при изготовлении крупногабаритных изделий в многогнездных формах.

Вакуумформование на пуансоне с предварительной вытяжкой сжатым воздухом. Этот способ применяется в тех случаях, когда полимер очень чувствителен к охлаждению. Чтобы в момент вытяжки лист не касался холодного пуансона, вначале под листом создают давление и лист вытягивается, как при свободном выдувании.

Затем в образовавшуюся полусферу вводят пуансон, включают вакуум и проводят окончательное формование изделия. Охлаждение осуществляют на пуансоне, а также за счет обдува воздухом снаружи.

В зависимости от того, ведутся ли все операции на одной позиции или заготовка перемещается с одной позиции на другую, различают одно-, двух- и многопозиционные машины.

Многопозиционные машины делятся на ленточные, барабанные, карусельные. Перемещение заготовки с одной позиции на другую может происходить периодически (конвейерные, карусельные) или непрерывно (барабанные).

Пневмоформование

Пневмоформование - это процесс формования изделий сжатым воздухом из заготовок в виде пленки или листа, нагретых до температур, при которых осуществляется высокоэластическая деформация полимера.

Лист или пленку производят из гранулята или порошка, получая полуфабрикат (полупродукт), что создает дополнительные затраты на сырье. Необходимость закрепления листа при пневмоформовании и последующий процесс обрезки приводят к отходам, которые возвращаются в производственный цикл путем их дробления. Полученный вторичный материал затем может добавляться к исходному материалу при производстве листа.

Заготовку из перерабатываемого материала нагревают до температуры, соответствующей переходу в высокоэластическое состояние (для аморфных полимеров) или до температуры приближенной к плавлению кристаллической фазы (для кристаллизующихся полимеров). Под влиянием сжатого воздуха (давление до 2,5 МПа) в заготовке развиваются обратимые высокоэластические деформации, которые "замораживаются" в результате быстрого охлаждения соприкасающегося с холодной формой материала.

Методом пневмоформования листов получают различные объемные изделия: коробки, посуду, емкости и т. п. В частности, из УПС получают детали для холодильников, мебели, облицовки, подделок; из сополимеров стирола, имеющих высокую ударную вязкость, изготавливают дверцы, панели для самолетов; из двухосноориентированной ПС-пленки изготавливают неглубокие прозрачные пакеты, из вспененной пленки — посуду для холодных напитков, мороженого, бутербродов; из ПММА — сигнальные фонари реклам, арматуру для ламп; из ориентированных листов - остекление для самолетов и вертолетов; из ПВХ изготавливают неглубокие изделия - рельефные карты, скатерти, маленькие пакеты и др.; из полиолефинов производят посуду, игрушки, упаковку для пищи.

К достоинствам метода пневмоформования относятся: простота технологии и машинного оформления, низкая энергоемкость, невысокая стоимость используемой оснастки, возможность полной автоматизации процесса, универсальность по виду перерабатываемых пластмасс.

Преимущество пневмоформования заключается в возможности использовать высокое давление формования (0,15—2,5 МПа), что позволяет получать изделия с более толстыми стенками, крупногабаритные детали. Изделия получают с небольшой разнотолщиной, имеют четкий контур, точные размеры.

Основные стадии процесса пневмоформования: раскрой и резка заготовок, их разогрев, формование изделий, механическая обработка готовых изделий (вырубка, сверление и др.), сборка, упаковка и транспортировка.

Для **резки** листов на заготовки применяют гильотинные ножницы, раскаленную электрическим током проволоку, ленточные и дисковые пилы, а также разнообразные приспособления типа резаков. При механической резке режущий инструмент (пилы, диски, фрезы) необходимо интенсивно охлаждать, а образующиеся опилки (стружку) удалять с помощью отсосов для сохранения качественной поверхности листа.

Нагревание листовой заготовки. Заготовки можно нагревать в сушильных шкафах, в электрическом поле высокой частоты или инфракрасными нагревателями.

Нагревание в сушильных шкафах более длительное.

Формование изделий происходит вследствие вытяжки листа под действием усилия прессы или сжатого воздуха. Скорость деформации листовой заготовки обеспечивается скоростью опускания плиты прессы или давлением и в каждом конкретном случае выбирается с учетом свойств полимера и температуры нагревания листа.

Скорость вытяжки листа обычно регулируется расходом сжатого воздуха, подаваемого в форму. Следует заметить, что при малой скорости подачи воздуха, лист прижимается к стенкам формы неравномерно, и может появиться рябь на поверхности изделия.

В процессе формования нагретая заготовка прижимается к поверхности формы под действием сжатого воздуха. Толстые заготовки для облегчения формования могут дополнительно прижиматься к поверхности формы с помощью механического давления пуансона.

В зависимости от конструкции формы существуют три разновидности способа формования:

- 1) свободное выдувание;
- 2) пневмоформование в матрицу;
- 3) пневмоформование в матрицу с вытяжкой заготовки толкателем.

Основными недостатками метода пневмоформования являются сравнительно высокие отходы полимера и длительность технологического цикла. Однако при крупносерийном и массовом производстве изделий коэффициент расхода материала можно уменьшить, применяя многогнездные формы.

Для одновременного формования нескольких изделий используется одна общая зажимная рама, поэтому часть заготовки, идущая под зажим, а затем на вторичную переработку, значительно сокращается. Таким образом, большая часть полимера расходуется рационально и расход его уменьшается.

Для сокращения длительности цикла необходимо совместить операции нагревания заготовки и охлаждения изделия или исключить операцию нагревания. Совмещения операций по времени можно добиться на поточных многопозиционных линиях.

Ротационное формование

Ротационное формование - метод изготовления тонкостенных полых изделий во вращающейся форме: заполненная порошкообразным или гранулированным материалом закрытая металлическая форма вращается вокруг двух и более пересекающихся осей. При этом происходит распределение сырьевого материала по внутренней поверхности полости формы, а одновременный нагрев формы способствует его расплавлению с образованием тонкого покрытия в виде оболочки. Фиксация формы и размеров получаемого полого изделия достигается охлаждением расплавленного материала.

Ротационное формование широко используется для изготовления разнообразных изделий самой различной величины и формы - деталей приборов, корпусных деталей мебели, бочек и контейнеров, лодок и др. В настоящее время данная технология позволяет производить изделия объемом до 10 000 л с толщиной стенок 6-20 мм.

К достоинствам метода относятся:

простота изготовления полых изделий по сравнению с другими методами;

возможность образования отверстий в стенке изделий или точечное изменение толщины стенки за счет изменения теплопроводности стенки формы;

отсутствие отходов материала и затрат на дополнительную механическую обработку готовых изделий.

отформованные изделия имеют гладкую поверхность без сварных швов, снижающих прочность изделий. При этом наиболее прочными являются углы и кромки изделия, которые обладают наименьшей прочностью при раздувном и пневмовакуумном формовании.

К недостаткам метода следует отнести большую длительность технологического цикла изготовления изделий и трудоемкость извлечения полученного изделия из формы.

Ротационное формование относится к высокопроизводительным процессам, уступая по производительности лишь литью под давлением, выдувному и экструзионному формованию. Причем, в ряде случаев экономически целесообразно использование ротационного формования для получения партий изделий, насчитывающих всего несколько штук.

Выбор оборудования для ротационного формования определяется конфигурацией и размерами изделия, типом перерабатываемого материала и серийностью производства.

Метод раздувного формования.

Полые и объемные изделия из термопластов - канистры, бочки, бутылки, флаконы, игрушки и т. п. – чаще всего получают методом раздувного формования. Производство изделий этим методом осуществляется в две стадии: сначала получают трубную заготовку с температурой несколько ниже температуры плавления, которую затем раздувают сжатым воздухом. В основе этой технологии лежит использование не только пластической, но и преимущественно высокоэластической деформации.

В зависимости от выбранного способа получения заготовки различают два метода раздувного формования: **экструзионный и литьевой**.

Экструзионный метод раздувного формования: с помощью экструдера формируется заготовка в виде трубки (рукава), которая затем поступает в форму, в которой происходит процесс формования изделия за счет создания внутри заготовки повышенного давления воздуха.

Благодаря большой производительности и высокому уровню автоматизации этот метод является в настоящее время основным способом формования полых изделий и, в результате ряда усовершенствований, позволяет получать изделия объемом от единиц миллилитров до нескольких десятков и даже сотен литров.

Технологический процесс получения изделий методом экструзионно-выдувного формования складывается из следующих операций:

- гомогенизация расплава и выдавливание рукавной заготовки;
- раздув заготовки в форме и формование изделия;
- охлаждения изделия и его удаление из формы;
- окончательная обработка готовых изделий.

Для изготовления полых изделий применяются, как правило, экструдеры сравнительно небольших размеров, с диаметром шнека 50-90 мм. Поскольку сопротивление головки сравнительно невелико, а основным требованием является получение расплава с высокой однородностью, длина шнека не превышает 15 – 18 D.

Расплавленный и гомогенизированный в экструдере материал выдавливается из головки вниз в виде трубчатой заготовки, которая попадает в открытую к этому моменту форму. После того, как длина заготовки достигнет необходимой величины, полуформы смыкаются, зажимая нижний и верхний края заготовки своими бортами. При этом происходит сварка нижнего конца заготовки и оформление отверстия на ее верхнем конце (или наоборот). После смыкания формы в нее через дорн или ниппель подается сжатый воздух, под действием которого размягченный материал рукава принимает конфигурацию внутренней полости формы.

Разнотолщинность заготовки зависит от скорости выдавливания расплава, его вязкости и веса заготовки. Обычно формование заготовки ведут при минимально возможной температуре расплава и высокой скорости экструзии. Минимальная разнотолщинность достигается при коэффициенте раздува 3-3,5.

В зависимости от конструкции изделия и формирующего инструмента подача сжатого воздуха для формования изделия может производиться через дорн (сверху), через специальный ниппель (снизу) или через полую иглу (рис. 1). Последний способ применяется главным образом при про-

изготовлении замкнутых изделий (без отверстия), так как формирующее отверстие в этом случае очень мало и затягивается после удаления иглы разогретым материалом.

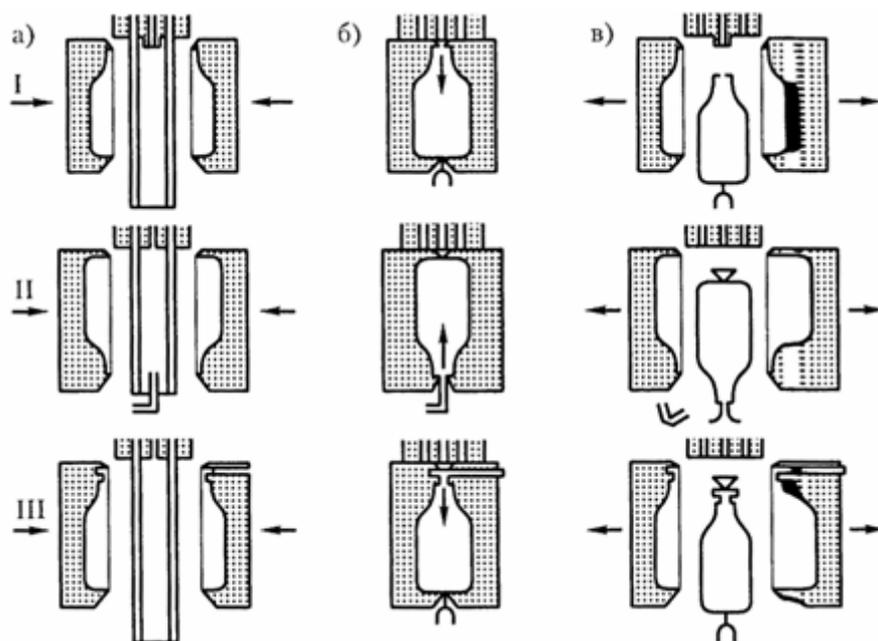


Рис. 1. Варианты подачи сжатого воздуха сверху (I), снизу (II), через дутьевую иглу (III):
а - смыкание полуформ; б - раздувание заготовки и охлаждение изделия; в - размыкание форм и съем изделия

Литьевой метод раздувного формования предполагает получение заготовки методом литья под давлением.

В этом случае расплав из цилиндра термопластавтомата впрыскивается в литьевую форму и трубчатая заготовка оформляется в зазоре между стенками формы и внутренним пустотелым сердечником. Заготовке может быть придана необходимая форма, причем горловина, ручки, необходимые приливы на наружной поверхности оформляются сразу при литье. После окончания процесса литья форма размыкается, и сердечник вместе с горячей заготовкой перемещается в другую форму, где после смыкания полуформ осуществляется процесс раздува за счет подачи сжатого воздуха во внутреннюю полость. При этом размер изделия увеличивается, а толщина стенок уменьшается. Так как геометрическая форма заготовки задается заранее, этот метод позволяет получать сложные по конфигурации изделия, изделия с равномерной толщиной стенок и необходимым соотношением толщины стенок в разных его частях.

Наибольшее распространение получил другой вариант этой технологии, когда стадии отливки заготовки и ее раздува разделены. Заготовка, называемая преформой, отливается в многогнездной форме на термопластавтомате и полностью охлаждается. Раздув заготовки осуществляется воздухом на специальном агрегате после ее предварительного разогрева, с последующим охлаждением в форме.

Этим методом производятся бутылки для всевозможных безалкогольных напитков, минеральной воды и т. п. Разделение стадий формования заготовки и ее раздува (как правило, у потребителя) позволяет достигнуть высокой производительности при изготовлении как заготовок, так и готовых изделий.

Изготовление пустотелых изделий раздуванием позволяет уменьшить толщину их стенки, сокращает расход дорогостоящего полимерного материала вследствие отсутствия пресс-кантов и приливов, увеличивает прочность и улучшает внешний вид продукции.

Недостаток изделий, изготовленных этим методом, в том, что все изделия обладают способностью необратимо утрачивать свою форму при повышении температуры выше температуры размягчения, что накладывает ограничения на температурный интервал их эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машины и аппараты химических производств / А. Г. Бондарь [и др.]; под общ. ред. И. И. Чернобыльского. – М.: Машиностроение, 1975. – 457 с.
2. Шаповалов, Ю. Н. Машины и аппараты общехимического назначения: учеб. пособие / Ю. Н. Шаповалов, В. С. Шейн. – Воронеж: ВГУ, 1981. – 304 с.
3. Сиденко, В. П. Измельчение в химической промышленности / В. П. Сиденко. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
4. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи: учеб. пособие / И. В. Доманский [и др.]; под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
5. Жужиков, В. А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий / В. А. Жужиков. – М.: Химия, 1980. – 400 с.
6. Шкоропад, Д. Е. Центрифуги для химических производств / Д. Е. Шкоропад. – М.: Машиностроение, 1975. – 248 с.
7. Соколов, В. И. Современные промышленные центрифуги / В. И. Соколов. – М.: Машиностроение, 1967. – 523 с.
8. Шкоропад, Д. Е. Центрифуги и сепараторы для химических производств / Д. Е. Шкоропад, О. П. Новиков. – М.: Химия, 1987. – 255 с.
9. Промышленные центрифуги: каталог. – М.: ЦИНТИХимнеф-темаш, 1971. – 142 с.
10. Фильтры для жидкостей: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефте-маш, 1974. – 246 с.
11. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Л.: Химия, 1981. – 560 с.
12. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973. – 452 с.
13. Справочник по теплообменникам: в 2 т. / пер. с англ., под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шилова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 2 т. – 560 с.
14. Машины и аппараты химических производств / О. А. Перельгин [и др.]; под общ. ред. И. И. Поникарова. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.
15. Александров, И. А. Ректификационные и абсорбционные аппараты / И. А. Александров. – М.: Химия, 1978. – 277 с.
16. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие для проектирования / Г. С. Борисов [и др.]; под общ. ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
17. Соколов, В. Н. Химические реакторы / В. Н. Соколов, М. Д. Бушков. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1980. – 60 с.
18. Михаил, Р. Реакторы в химической промышленности / Р. Михаил, К. Кырлогану. – Л.: Химия, 1968. – 383 с.
19. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М.: Химия, 1970. – 429 с.
20. Колонные аппараты: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1978. – 30 с.
21. Молоканов, Ю. К. Процессы и аппараты нефте- и газопереработки / Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1980. – 408 с.
22. Исламов, М. Ш. Печи химической промышленности / М. Ш. Исламов. – Л.: Химия, 1969. – 176 с.
23. Печи химических производств: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1976. – 24 с.
24. Печи общего назначения с вращающимися барабанами: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1965. – 31 с.
25. Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представление к защите и защита: СТП БГТУ 002-2007. – Введ. 02.05.2007. – Минск: БГТУ, 2007. – 40 с.
26. Торцовые уплотнения вращающихся валов: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1974. – 246 с.
27. Проекты (работы) дипломные. Требования и порядок подготовки, представления к защите и защиты: СТП 001-2002. – Введ. 01.04.2002. – Минск: БГТУ, 2002. – 159 с.
28. Торнер, Р. В. Оборудование заводов по переработке пластмасс / Р. В. Торнер, М. С. Акутин. – М.: Химия, 1986. – 400 с.

29. Бекин, Н. Г. Оборудование заводов резиновой промышленности / Н. Г. Бекин, Н. П. Шанин. – Л.: Химия, 1978. – 398 с.
30. Методические указания и задания к контрольным работам по дисциплине «Оборудование по переработке полимерных материалов» / В. Н. Гуляев [и др.]; под общ. ред. И. М. Плехова. – Минск: БТИ им. С. М. Кирова, 1988. – 16 с.
31. Лацинский, А. А. Конструирование сварных химических аппаратов / А. А. Лацинский. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
32. Михалев, М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов / М. Ф. Михалев. – Л.: Машиностроение, 1984. – 299 с.
33. Федоренко, В. А. Справочник по машиностроительному черчению / В. А. Федоренко, А. И. Шошин. – Л.: Машиностроение, 1981. – 416 с.
34. Козулин, Н. А. Примеры и задачи по курсу оборудования заводов химической промышленности / Н. А. Козулин, В. Н. Соколов, А. Я. Шапир. – М.: Машиностроение, 1966. – 484 с.
35. Рябинин, Д. Д. Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей / Д. Д. Рябинин, Ю. Е. Лукач. – М.: Машиностроение, 1965. – 400 с.
36. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов / М. В. Соколов [и др.]; под общ. ред. А. С. Клинова. – М.: Машиностроение, 2005. – 320 с.
37. Машиностроение: энциклопедия: в 40 т. Раздел IV. Расчет и конструирование машин. Т. IV-12: Машины и аппараты химических и нефтеперерабатывающих производств / В. П. Александров [и др.]; под общ. ред. М. Б. Генералова. – М.: Машиностроение, 2004. – 829 с.
38. Поникаров, И. И. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи) / И. И. Поникаров, С. И. Поникаров, С. В. Рачковский. – М.: Альфа-М, 2008. – 720 с.
39. Проектирование и расчет валковых машин для полимерных материалов: учеб. пособие / В. И. Кочетов [и др.]; под общ. ред. А. С. Клинова. – Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2005. – 128 с.
40. Машины и аппараты химических производств: учеб.-метод. комплекс: в 2 ч. Ч. 2: Оборудование для производства полимерных и строительных материалов / сост. А. В. Митинова, О. Н. Жаркова. – Новополюцк: ПГУ, 2008. – 280 с.
41. Основы технологии переработки пластмасс / Л. Б. Кандырин [и др.]; под общ. ред. С. В. Владова. – М.: Химия, 2004. – 600 с.
42. Машины и аппараты химических производств: учеб. пособие для ВУЗов / Б. Г. Балдин [и др.]; под общ. ред. А. С. Тимонина. – Калуга: Изд-Н. Ф. Бочкаревой, 2007. – 872 с.
43. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: в 2 кн. / М. К. Захаров [и др.]; под общ. ред. В. Г. Айнштейна. – М.: Университетская книга, 2006. – Кн. 2. – 872 с.
44. Плановский, А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В. М. Рамм, С. З. Каган. – М.: Химия, 1968. – 848 с.

Аппараты для перемешивания жидких сред

1. Бакланов Н.А. Перемешивание жидкостей. Л.-Химия, 1979. 63с.
2. Богданов В. В. Христофоров Е.И. Кдоцунг Б. А. Эффективные масообменные смесители. Л.-Химия, 1989. 224с.
3. Брагинский Л.Н. Вегачев В.И. Варабаш В.М. Перемешивание в жидких средах; Физ. основы и инж. методы расчета. Л. Химия, 1984. 336с.
4. Васильцов З.А. Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред: Справ. пособие. Л.-Машиностроение, 1989. 271с.
5. Канторович З. В. Машины химической промышленности. М.-Машиностроение, 1965. 415с.
6. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.-. Химия, 1973. 750с.
7. Криворот А. С. Конструкция и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности. Ц.: Машиностроение, 1976. 376с.
8. Леонтьева А. И. Машины и аппараты химической промышленности. Учеб. пособие. Тамбов: ТГТУ, 1991. 4.1. 104с.

9. Машины и аппараты химических производств./Под ред. И. И. Чернобыльского. М.: машиностроение, 1975. 456с.

10. Холланд Ф.А., Чапман Ф.С. Химические реакторы и смесители для жидкофазных процессов: Пер. с англ. М.: Химия, 1974. 208с.

Реакторы химической промышленности

1. Авербух А. Я. Туболкин А.Ф. Макрокинетика и химические реакторы: Учеб. пособие/ Ленингр. технол. ин-т им. Ленсовета. Л., 1978. 112с.

2. Бесков В.С., Гришин Л.В., Зайцев В.Н. Процессы в химических реакторах: Текст лекций/ МХТИ им. Д.И. Менделеева. М., 1986. 84с.

3. Бесков В.С., Флонк В. Моделирование каталитических процессов и реакторов. М.: Химия, 1991. 254с.

4. Врайнес Я.М. Введение в теорию и расчеты химических и нефтехимических реакторов. М.: Химия, 1968. 247с.

5. Вихмая Г. А., Кругдов С. А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. М.: Машиностроение, 1978. 327с.

6. Вольтер Б.В., Сальников И.Е. Устойчивость режимов работы химических реакторов. М.: Химия, 1981. 198с.

7. Евстафьев А.Г. Реакторные установки: Учеб. пособие. М.: МИХМ, 1981. 87с.

8. Карпачева С.М., Захаров Е.И. Основы теории и расчета пульса-ционных колонных реакторов. М.: Атомиздат. 1980. 256с.

9. Катализ в кипящем слое/ И.П. Мухленов, В.П. Анохин, В.А. Проскуряков и др. Л.: Химия, 1978. 232с.

10. Конструирование, исследование машин, аппаратов, реакторов химической техники: Межвуз. сб. науч. тр./МИХМ. М., •1986.

11. Кузнецов А.А., Кагерман С.М., Судаков Е.Н. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. Л.: Химия, 1974. 343с.

12. Лапин А.А., Лапина Н.В. Автоматизированное проектирование и разработка САПР трубчатых химических реакторов: Учеб. пособие/ ТИХМ. Тамбов, 1991. 76с.

13. Манусов Е.Б., Буянов Е.А. Расчет реакторов объемного типа. М.: Машиностроение, 1978. 112с.

14. Математическое моделирование каталитических реакторов: Об. науч. тр. Новосибирск: Наука, 1989. 263с.

15. Михаил Р. Кырлогану К. Реакторы в химической промышленности. М.: Химия, 1968. 387с.

16. Расчеты по технологии неорганических веществ/Под ред. М.Е. Поаина. М.: Химия, 1977. 495с.

17. Рейхсфельд В.О., Шеин В.С., Ермаков В.И. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука. М.: Химия, 1975. 391с.

18. Смирнов Н.Н., Волжинский А.И., Константинов В.А. Расчет и моделирование ионообменных реакторов. Л.: Химия, 1984. 224с.

19. Смирнов Н.Н., Воджинский А.И. Химические реакторы в примерах и задачах. М.: Химия, 1986. 224с.

20. Смирнов Н.Н. Реакторы в химической промышленности.. М.: Химия, 1972. 58с.

21. Технология катализаторов/ И.П. Мухденев, Е.И. Добкина, В.И. Дерюжкина и др. Л.: Химия, 1989. 271с.

22. Холланд Ф., Чапман Ф. Химические реакторы и смесители для жидкофазных процессов. М.: Химия, 1974. 208с.

23. Шишкин А.В., Малютина Э.Д. Современное реакционное оборудование с развитой поверхностью теплообмена для обработки агрессивных сред/ ЦИНТИхимнефтемаш. М., 1990. 48с.

Колонные аппараты

1. Александров И. А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. М.: Химия, 1978. 277с.

2. Адъперт Л.З. Основы проектирования химических установок. М.: Высшая школа, 1976. 272с.
3. Анисимов И.В., Бодров В.И., Покровский В.В. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок. М.: Химия, 1975. 215с.
4. Броунштейн В.И., Щеголев В.В. Гидродинамика, массо- и теплообмен в колонных аппаратах. Л.: Химия, 1988. 335с.
5. Генкин А.Э. Оборудование химических заводов. М.: Высш. шк., 1978. 272с.
6. Домашнев А.Д. Конструирование и расчет химических аппаратов. М.: Машиностроение, 1961. 624с.
7. Дытнерский Ю.И.//Хим. и нефт. машиностроение. 1964. N3. С. 13-1Б.
8. Каган С.Э., Аэров м.Э., Волкова Т.е., Труханов В.Г.//ЖПХ. 1964. Т. 37. N1. С. 58-65.
9. Каган С.З., Ковалев Ю.Н., Захарычев А.П.//ГОХТ. 1973. Т.7. N4. С. 565-570.
10. Кафаров В.В., Дытнерский Ю.И.//ЖПХ. 1957, Т. SO. N8 С. 1968-1972.
11. Касаткин А.Г. Дытнеоскпи Ю И.. Кочергин Н В. Тепло- и массоперенос. Минск Наука и техника, 1966. Т. 4. С. 12-17.
12. Касаткин А.Г , Плановский А.Н., Чехов 0.0. Расчет тарельчатых ректификационных и абсорбционных аппаратов. М.: Стандартгиз. 1961 81с.
13. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 7Б0с.
14. Колонные аппараты. Каталог. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1978. 31с.
15. Коптев А. А. Аппаратура колонного типа для диффузионных процессов: Метод, разработка. Тамбов, 1976. 48с.
16. Коробчанский И.Е., Кузнецов М.Д. Расчет аппаратуры для улавливания химических продуктов коксования. М.: Металлургия, 1972. 295с.
17. Кувшинский М.К., Соболева А.П. Курсовое проектирование по предмету " Процессы и аппараты химической промышленности ". М.: Высш. шк., 1980. 223с.
18. Лапидус А.С. Экономическая оптимизация химических производств. М.: Химия, 1986. 208с.
19. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л.: Машиностроение, 1970. 752с.
20. Леонтьева А.И. Машины и аппараты химических производств. Учеб. пособие. Тамбов: ТГТУ, 1992. 4.2. 120с.
21. Майков В.П., Цветков А.А. Расчет ректификационных колонн. Системноинформационный подход/ МИХМ. М., 1977. 78с.
22. Мартюшин С.И., Карцев Е.В., Ковалев Ю.Н. К расчету ректификационных колонн для разделения бинарных смесей с применением ЭВМ: Метод, указания/ МХТИ им. Д.И. Менделеева. М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева. 1984. 38с.
23. Машины и аппараты химических производств/ Под ред. И.И. Чернобыльского. М.: Машиностроение, 1975. 456с.
24. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов. Л.: Химия. 1976. 552с.
25. Перри Дж. Справочник инженера-химика: Пер. с англ. Л.: Химия. 1969. Т. I. 940с.
26. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1987. 496с.
27. Cornell D., hnapp W.G. et al.//Chem. Eng. Progr., 1960. N7 P. 68-. N8 P. 48.
- 28 Справочник химика. М.-Л.: Госхимиздат. 1963. Т. I 1071с.
29. Стабников В.Н. Расчет и конструирование контактных устройств ректификационных и абсорбционных аппаозтов. Киев: Техника. 1970. 208с.
30. Ульянов В.А. Поверхность контакта фаз и массообмен в тарельчатых ректификационных аппаратах. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1982. 129с.

Теплообменная аппаратура

1. Адъперт Л.З. Основы проектирования химических установок, 2-е изд. М.: Высш. шк., 1989. 303с.
2. Бакластов А.М., Горбенко В. А., Удыма П.Г. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплообменных установок. М.: Энергоиздат, 1981. 336с.

3. Барановский Н. В., Коваленко Л.М., Ястребенецкий А.Ф. Пластинчатые и спиральные теплообменники. М.: Машиностроение, 1973. 288с.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Физматгиз, 1972. 720с.
5. Домашнев А.Д. Конструирование и расчет химических аппаратов. М.: Машиностроение, 1961. 624с.
6. Канавец Г.Е., Зайцев И.Д., Головач И.И. Введение в автоматизированное проектирование теплообменного оборудования. Киев: Наук. думка, 1985. 229с.
7. Канавец Г.Е. Обобщенные методы расчета теплообменников. Киев: Наук. думка, 1979. 357с.
8. Канавец Г.Е. Теплообменники и теплообменные системы. Киев: Наук. ДУМка, 1982. 272с.
9. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической промышленности. 8-е изд. М.: Химия, 1973. 750с.
10. Контактные теплообменники/ Е"И. Гаубман, В.А. Горнов, В.Л. Мельцер и др. М.: Химия, 1988. 256с.
11. Краснов В.И., Максименко М.Э. Ремонт теплообменников, М.: Химия. 1 зал. 1шпр
12. Криворот А. С. Конструкция и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности. М.: Машиностроение, 1976. 376с.
13. Кутателадзе С. С., Боришавский В.М. Справочник по теплопередаче. М.: Госэнергоиздат, 1959. 414с.
14. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979. 415с.
15. Кутепов А.М., Жихарев А.С. Конструирование и расчет теплообменных аппаратов. М.: МИХМ, 1983. 56с.
16. Лашинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. Л.: Машиностроение, 1970. 75 йс.
17. Леонтьева А. И. Машины и аппараты химических производств. Учеб. пособие. Тамбов: ТГТУ, 1992. 4.2. 120с.
18. Машины и аппараты химических производств/ Р.Я. Ладнев, В.А. Гаевский, А.Г. Бондарь и др.; Под редакцией И.И. Чернобыльского. М.: Машиностроение, 1975. 454с.
19. Мигай В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980. 144с.
20. Микулин Е.И., Шевич Ю.А. Матричные теплообменные аппараты. М.: Машиностроение, 1983. 111с.
21. Михеев М.А., Михеев И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 343с.
22. Нестеров В.Д., Васильев Ю.Н. Вихревые динамические теплообменники. М.: Недра, 1982. 181с.
23. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. 8-е изд. М.: Химия, 1987. 376с.
24. Пррри Дж. Справочник инженера-химика/ Под ред. Н.М. Жаворон-КСЕЗ. П.Г. Романкова. М.: Химия, 1969. Т. 1,2.
25. Планоский Д.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1987. 496с.
26. Плановский А.Н., Рамм В.М., Коган С.З. Процессы и аппараты химической технологии, 5-е изд. М.: Химия, 1968. 847с.
27. Промышленные теплообменные процессы и установки: Ученик для вузов/ А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, О.Л. Данилов и др. М.: Энергоатомиздат. 1996. 328с.
28. Расчет и конструирование современного теплохимического оборудования: Сб. науч. тр./ НИИХИММАШ. М., 1989. 174с.
29. Справочник по теплообменникам: BS - х.т.: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1987. Т. 1,2.
30. Справочник химика. М.-Л.: Химия, 1963. Т.1,2.

Уплотнения вращающихся валов

1. Генкин А.Э. Оборудование химических заводов. М.: Высш.шк., 1970. 272с.

2. Леонтьева А. И. Машины и аппараты химических производств. Учеб. пособие. Тамбов: ТРТУ, 1991. 4.1. 104с.
3. Рейхсфельд В.О., Шеин В.С., Ермаков В.И. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука. М.: Химия, 1985. 264с.
4. Торцовые уплотнения аппаратов химических производств/ Г.В. Антипин, МЛ. Банников, А.Д. Домашнев и др. М.:Машиностроение, 1984. 112с.
5. Торцовые уплотнения вращающихся валов аппаратов: Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1973. 24с.
6. Торцовые уплотнения вращающихся валов аппаратов: Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1978. 25с.
7. Торцовые уплотнения. Материалы, расчет (уплотнения вращающихся валов в исполнении нижнего привода): Библиогр. указ. /ИркутскНИИММП. Иркутск, 1972. 15с.

Оборудование для переработки полимеров. Червячные и валковые машины

1. Рябинин Д.Д., Лукач Ю.А. Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей. М.:Машиностроение, 1965. 363с.
2. Самойлов А.В. Тепловые расчеты червячных и валковых машин. М.: Машиностроение, 1978. 152с.
3. Сергеев С.А. Теплоснабжение и терморегулирование и червячных и валковых машин по переработки пластмасс: Обзор. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1969. 70с. (ХИ-2. Оборудование для переработки пластмасс и резины).
4. Силин В.А. Динамика процессов переработки пластмасс в червячных машинах. М.: Машиностроение, 1972. 150с.
5. Червячные прессы, агрегаты и линии на их базе как технологическое оборудование для интенсификации процессов переработки полимерных материалов: Сб. науч. тр. Тамбов: ВНИИРТмаш, 1985. 108с.
6. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1989. 303с.
7. Бекин Н.Г., Изотов Л.В. Стуев С.ф. Машины и аппараты химических производств. Расчет технологических и конструктивных параметров оборудования: Учеб. пособие. Ярославль: ЯПИ, 1989. 47с.
8. Красовский В.Н. Переработка полимерных материалов на валковых машинах. Л.: Химия, 1979. 116с.
9. Новые методы расчета и конструирования машин и аппаратов химических производств: Межвуз. сб. науч. тр. М.: МИХМ, 1987. 139с.
10. Процессы и аппараты химической технологии/Под ред. В.В Кафарова. М.: ВИНТИ, 1973. 21с.
11. Спорягин Э.А., Красовский В.Н. Оборудование заводов резиновой промышленности. Минск: Высш. шк., 1971. С.77-120.