

Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет»

Кафедра машин и аппаратов химических и силикатных производств

Конспект лекций по дисциплине

**ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПРЕДПРИЯТИЙ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

для студентов специальности 1–48 01 01 «Химическая технология неорганических  
веществ, материалов и изделий», специализаций 1-48 01 01 07 «Технология  
строительных материалов на основе вяжущих веществ», 1-48 01 01 14 «Химическая  
технология вяжущих материалов»

Составитель: ассистент **Семененко Дмитрий Владимирович**

# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НЕМУ. ПОРЯДОК РАСЧЕТА

## 1.1. Классификация оборудования

По назначению и принципу действия оборудование подразделяется на машины, аппараты, агрегаты, технологические линии.

*Машины* – это механизмы или сочетание механизмов для преобразования энергии или совершения работы. Например, в компрессоре механическая энергия затрачивается на сжатие газа, в дробилке или мельнице – на измельчение материала.

*Аппараты* – это устройства, предназначенные для проведения химических, физико-химических, тепловых и гидромеханических процессов, в которых механические операции играют вспомогательную роль. Например, в гипсоварочном котле протекают процессы дегидратации природного гипса, в автоклаве осуществляются процессы твердения силикатных изделий за счет тепловых процессов.

*Агрегаты* – это сочетание машин и аппаратов для осуществления определенного технологического процесса или стадии.

*Технологические линии* – это сочетания машин и аппаратов для изготовления изделий или получения готового продукта.

Кроме того, различают универсальное, специализированное и специальное оборудование.

*Универсальное оборудование* – это типовое оборудование, пригодное для многих производств (насосы, компрессоры, фильтры, центрифуги, конвейеры, питатели, электрофильтры и др.).

*Специализированное оборудование* предназначено для нескольких близких по типу производств (вращающиеся печи, холодильники, сушильные барабаны, мельницы и др.).

*Специальное оборудование* применяют для одного определенного технологического процесса или операции (пресса для формования силикатного кирпича, листоформовочная машина, трубоформовочная машина, резательная машина и др.).

*Технологическое оборудование* по его роли в осуществлении процесса подразделяется на *основное* и *вспомогательное*.

К *основному* оборудованию относятся машины и аппараты, необходимые для проведения механических, физико-механических и химических процессов, в результате которых получают вязущие вещества или изделия на их основе.

К *вспомогательному* оборудованию относят машины и аппараты, обеспечивающие работу основного оборудования. Так, при помоле цементного клинкера, основным оборудованием является трубная мельница, а вспомогательным – питатели клинкера и добавок, сепараторы, пневмонасосы, электрофильтры и др.

По условиям работы различают непрерывно и периодически действующее оборудование.

В машинах и аппаратах *периодического действия* локальная интенсивность процесса и его параметры (температура, давление, концентрация) изменяются во времени (гипсоварочный котел, автоклав и др.).

Машины и аппараты *непрерывного действия* отличаются постоянством локальной интенсивности процесса и его параметров. Их производительность выше, чем у периодически действующих. В них будет меньше расходоваться энергии, легче поддержать оптимальный технологический режим и их проще автоматизировать.

По характеристике процессов, осуществляемых в аппаратах при производстве вяжущих материалов, их можно разделить на:

- аппараты гидромеханических процессов;
- теплообменные аппараты;
- массообменные аппараты;
- реакторы.

Аппараты для гидромеханических процессов подразделяются на три вида:

1) аппараты для разделения газовых неоднородных систем, т. е. для выделения из газов пыли. К ним относятся пылевые камеры, циклоны, электрофильтры, рукавные фильтры;

2) аппараты для разделения жидких неоднородных систем, т. е. для выделения твердых частиц из жидкой фазы (отстойники, фильтры, центрифуги, гидроциклоны);

3) аппараты для образования неоднородных систем. К ним относятся смесители, аппараты с кипящим и псевдоожиженным слоем.

В *теплообменных аппаратах* осуществляется теплопередача между различными фазами или различными технологическими потоками.

К *массообменным* относятся аппараты, в которых основным процессом является перенос массы между различными фазами: растворители, кристаллизаторы, сушилки и реакторы гетерофазных процессов.

*Реакторы* – это аппараты, в которых происходит изменение молекулярного состава вещества при проведении химических процессов. В зависимости от условий работы они бывают двух видов: *идеального смешения* и *идеального вытеснения*.

*Реакторы идеального смешения* – это аппараты с перемешивающими устройствами, обеспечивающими постоянство всех параметров во всех точках объема. К ним относятся растворители, кристаллизаторы, смесители и др.

*Реакторы идеального вытеснения* – это аппараты, в которых отсутствуют перемешивающие устройства. К ним относятся шахтные печи, силос-реактор в производстве силикатного кирпича.

Все реакторы в химической технологии по технологическому назначению могут быть подразделяются на 4 группы:

- 1) контактные аппараты или конвертеры;
- 2) печи-реакторы;
- 3) реакторы жидкофазных процессов – это аппараты для проведения химических процессов между жидкостями и твердыми веществами;
- 4) аппараты высокого давления.

В химической технологии вяжущих материалов используются, в основном, 2-й и 3-й типы реакторов.

## 1.2. Требования, предъявляемые к оборудованию

Любое оборудование должно удовлетворять ряду технологических и конструктивных требований.

К технологическим требованиям относятся:

1) максимальная производительность при минимальных затратах материалов, энергии, труда на обслуживание. Достигается выбором оптимальной конструкции и режима работы, обеспечивающего максимальную интенсивность процесса.

2) устойчивость обеспечения заданного технологического режима и основных процессов, точность и удобство регулирования, возможность применения автоматического контроля и управления. Обеспечивается правильным выбором конструкции, установкой приборов контроля и средств регулирования параметров процесса.

3) механизация и автоматизация загрузки и выгрузки;

4) техническая безопасность при обслуживании;

5) минимальный уровень воздействия на окружающую среду.

К конструктивным требованиям относятся:

1) механическая прочность и устойчивость формы. Заключается в том, что при конструировании оборудования закладывается запас прочности.

2) долговечность и надежность;

3) конструктивное совершенство;

4) транспортабельность;

5) унификация, характеризующаяся степенью насыщенности близких по конструкции машин и аппаратов стандартными узлами и деталями. Она позволяет значительно снизить затраты на их изготовление и эксплуатацию, упростить обеспечение запасными частями.

### *1.3. Порядок расчета аппарата*

При создании аппарата или подборе его для технологического процесса проводят следующие расчеты: технологический, тепловой, гидравлический или аэродинамический, энергетический и механический или конструктивный.

Цель технологического расчета аппарата – определить размеры или их число при заданных размерах (по нормам технологического регламента и времени пребывания в нем материала и т. д.), при этом учитывается коэффициент заполнения объема аппарата, коэффициент запаса производительности, длительность пребывания материала в аппарате, скорость движения и т. п.

*Коэффициент заполнения  $\varphi$*  – это отношение объема материала к полному объему аппарата. Для сборников, хранилищ  $\varphi = 0,85 \div 0,9$ ; для аппаратов с мешалками (реакторы, растворители)  $\varphi = 0,75 \div 0,8$ ; для аппаратов, в которых протекает процесс пенообразования,  $\varphi = 0,4 \div 0,6$ .

*Коэффициент запаса производительности  $\alpha$*  – это отношение расчетной производительности к фактической. Он связан с надежностью аппарата. У простых аппаратов без движущихся частей  $\alpha = 1,0 \div 1,05$ ; у аппаратов с внутренними устройствами без движущихся частей  $\alpha = 1,1 \div 1,15$ ; у аппаратов с быстровращающимися деталями и работающих при высоких температурах и давлении  $\alpha = 1,15 \div 1,20$ .

Способы *технологических расчетов* обычно основаны на составлении материальных балансов, т. е. на их основе и заданной производительности рассчитывают материальные потоки.

Целью *теплового расчета* является определение поверхности теплообмена, расхода теплоты, теплоносителя, потерь теплоты в окружающую среду, толщины теплоизоляции и т. п.

Для этого составляется тепловой баланс аппарата с учетом всех источников подвода и расхода энергии.

Для ряда аппаратов обязателен расчет тепловой изоляции, т. к. температура наружной поверхности ограничена нормами техники безопасности и не должна превышать  $40\div 50^{\circ}\text{C}$ .

Целью гидравлического или аэродинамического расчета является определение сопротивления аппарата проходу жидкости или газа при заданной производительности и размерах аппарата, а также размерах патрубков и штуцеров для ввода и вывода сырья и материала. Число и расположение патрубков и штуцеров принимается с учетом требований технологии, агрегатного состояния веществ и конструкции аппарата.

Целью энергетического расчета является определение мощности привода перемещающих, перемешивающих и других устройств аппарата.

Целью механического или конструктивного расчета является проверка наиболее ответственных узлов и деталей, работающих в самых тяжелых условиях. Например, расчет на прочность обечаек, днищ и крышек аппаратов, работающих под давлением; валов, лопастей, мешалок и т. п.

## **2. УСЛОВИЯ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

### *2.1. Условия работы оборудования*

Функционирующее на производстве оборудование постоянно работает в условиях интенсивного воздействия разрушающих факторов технологических процессов:

- высокой температуры (охладители извести, клинкера);
- больших нагрузок (дробильное оборудование, вращающиеся печи, барабаны, шаровые мельницы);
- высокой влажности (смесители влажных масс, автоклавы);
- запыленности (пылеочистительное оборудование, теплообменные устройства);
- агрессивных сред (запечные теплообменные устройства).

Причем, зачастую на детали оборудования действуют одновременно несколько разрушающих факторов. Например, корпус вращающихся печей работает под действием следующих факторов:

- нагрузки от собственного веса, веса обжигаемого материала и футеровки;
- крутящего момента, передаваемого от привода печи;
- нагрева корпуса и его охлаждения во время остановок, особенно зимой.

Действие разрушающих факторов на детали оборудования может привести к потере одного или нескольких свойств, обеспечивающих надежность его работы. Например, прочности, жесткости, износоустойчивости и т. п., что приведет к возникновению постепенных или внезапных (аварийных) отказов.

## 2.2. Виды изнашивания оборудования

Срок службы деталей оборудования зависит от видов его изнашивания. Различают следующие виды изнашивания:

- абразивное;
- коррозионно-механическое;
- гидроабразивное;
- усталостное.

*Абразивное* изнашивание – это механическое изнашивание деталей или узлов оборудования за счет режущего или царапающего действия твердых частиц. Этому виду изнашивания подвержено дробильное и помольное оборудование, пневмотранспорт и др.

*Коррозионно-механическое* изнашивание обусловлено механическим воздействием частиц, сопровождающееся химическим и(или) электрическим взаимодействием материала с газовой или жидкой средой. Этому виду изнашивания подвержены внутривальные теплообменники, цепные завесы, запечные теплообменники, электрофильтры, дымососы, охладители клинкера, извести и т. п.

*Гидроабразивное* изнашивание – это абразивное изнашивание в результате действия движущихся твердых частиц, взвешенных в жидкости. Например, при перемещении шлама происходит гидроабразивное изнашивание деталей насосов, бассейнов, задвижек, трубопроводов.

*Усталостное* изнашивание – это механическое изнашивание поверхностного слоя детали в результате повторяющейся деформации микрообъемов материала. Этому виду изнашивания подвержены подшипники скольжения, бандажи опорных и упорных роликов вращающихся печей, зубчатые колеса, оси и т. п.

## 2.3. Коррозия, виды коррозионных разрушений металлов и сплавов

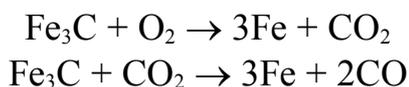
Снижение прочности, износоустойчивости и других свойств материала аппаратов обусловлено непосредственно коррозионным воздействием газовой или жидкой среды. К таким аппаратам в химической технологии вяжущих материалов относятся автоклавы и печные агрегаты.

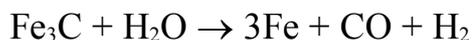
*Коррозия* – это разрушение материала при химическом или электрохимическом воздействии газовой или жидкой среды.

*Химическая коррозия* наблюдается при воздействии сухих газов и жидких неэлектролитов на металлы, а также при воздействии электролитов на неметаллы. Основной разновидностью химической коррозии является газовая коррозия, которая возникает при воздействии химически активных газов на металлы при повышенных температурах и давлении (например, газовая коррозия в печных агрегатах производства извести, клинкера). Механизм газовой коррозии металлов протекает по следующей реакции:



В случае углеродистых сталей при химической коррозии протекают следующие реакции:





Происходит обезуглероживание сталей, которое приводит к снижению прочностных характеристик металла.

*Электрохимическая коррозия* возникает при воздействии на металлы и сплавы растворов солей, кислот, щелочей, влажных газов и расплавов солей и щелочей. При электрохимической коррозии на аноде ионы металла переходят в раствор, а на катоде выделяется водород.

Коррозия металлов подразделяется на *сплошную* и *местную*.

*Сплошная коррозия* появляется при отсутствии защитных пленок на поверхности металла или при равномерном распределении анодных и катодных участков. Данный вид разрушения менее опасен, т. к. потеря прочности металла приблизительно пропорциональна уменьшению массы.

*Местная коррозия* бывает пятнистая, язвенная, точечная, подповерхностная, межкристаллитная, внутрикристаллитная. Для всех этих разновидностей характерно разрушение отдельных участков металла.

При *пятнистой коррозии* отмечается большая площадь очагов и их малая глубина. Этот вид разрушения близок к сплошной коррозии.

При *язвенной коррозии* глубина разрушений превышает их протяженность.

При *точечной коррозии* могут образовываться сквозные отверстия в металле.

*Подповерхностная коррозия* характеризуется распространением очага разрушения под поверхностью металла, что приводит к вспучиванию и расслоению металла продуктами коррозии.

*Избирательная коррозия* характеризуется разрушением одного из компонентов или одной из фаз гетерогенного сплава. К ней относят и *межкристаллитную коррозию*, при которой разрушение идет по границам зерен кристаллов. К межкристаллитной коррозии склоны хромистые и хромоникелевые стали после нагрева до 500÷800°C.

В некоторых случаях разрушение может распространяться по кристаллам вглубь металла. Такой вид разрушений называется *транскристаллитной коррозией* или *внутрикристаллитной коррозией*. Это наиболее опасный вид коррозионных разрушений, т. к. ее невозможно контролировать по изменению массы или визуально. Ей менее всего подвержены малоуглеродистые стали. При содержании углерода менее 0,01% она не наблюдается.

#### 2.4. Коррозионная устойчивость металлов и сплавов. Жаростойкость

Коррозионная устойчивость оценивается по скорости коррозии и глубинному показателю коррозии.

Скорость коррозии – это количество металла, разрушаемого в единицу времени (ч, сут.) с единицы поверхности металла (м<sup>2</sup>):

$$K = \frac{\Delta m}{F \cdot \tau}, \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

Глубинным показателем коррозии является *проницаемость*. Она характеризует уменьшение толщины металла (мм) в течение года вследствие коррозии. Этим показателем в основном характеризуется равномерная или пятнистая коррозия.

$$P = \frac{K \cdot 8760}{\rho \cdot 1000} = 8,76 \frac{K}{\rho}, \frac{\text{мм}}{\text{год}},$$

где  $K$  – скорость коррозии, г/(м<sup>2</sup>·ч);

$\rho$  – плотность металла, кг/м<sup>3</sup>.

По коррозионной устойчивости материалы делятся на шесть групп и оцениваются по десятибалльной шкале, в зависимости от глубинного показателя коррозии (табл. 2.1).

Оборудование, подверженное воздействию агрессивных сред, должно обладать баллом стойкости не менее 5.

Жаростойкость (окалиностойкость) определяется скоростью образования окалины, т. е. количеством оксидов, образующихся в единицу времени на единице поверхности металла. Повышение температуры вызывает экспоненциальный рост скорости окисления металла (в соответствии с уравнением Аррениуса) и значительно уменьшает прочность металла.

Таблица 2.1

Классификация материалов по коррозионной устойчивости

Группа стойкости	Балл стойкости	П, мм/год
1) совершенно стойкие	1	< 0,001
	2	0,001÷0,005
2) весьма стойкие	3	0,005÷0,01
3) стойкие	4	0,01÷0,05
	5	0,05÷0,1
4) понижено стойкие	6	0,1÷0,5
	7	0,5÷1,0
5) малостойкие	8	1,0÷5,0
	9	5,0÷10,0
6) нестойкие	10	> 10,0

Большинство металлов обладает низкой жаропрочностью, т. е. они не способны выдерживать длительные механические нагрузки при повышенных температурах.

### 2.5. Материалы для изготовления оборудования

Детали оборудования изготавливают из сталей, чугунов, сплавов, цветных металлов, а также полимерных материалов и различных марок резин.

Для придания стали более высоких физико-механических характеристик (жаростойкости, коррозионной устойчивости, упругости, прочности и др.) их подвергают легированию, т. е. вводят в них добавки (легирующие элементы), повышающие указанные свойства.

Марки легированных сталей имеют буквенно-цифровое обозначение. Буквы соответствуют легирующим элементам (табл. 2.2).

К сталям относятся металлические сплавы с массовым содержанием железа не менее 45% и углерода не более 2,14%. Различают следующие виды сталей:

– углеродистые обычного качества Ст0...Ст6: чем выше число, тем больше прочность, ниже пластичность и выше содержание С. Буква А перед маркой означает, что сталь поставляется с гарантированными физическими свойствами (чаще всего буква А не ставится в марке), Б – с гарантированным химическим составом, В – с гарантированными физическими свойствами и хим. составом. Например, ВСт3. Буквы в конце марки стали означают способ раскисления стали: кп – кипящий, сп – спокойный, пс – полуспокойный;

– качественные (конструкционные) Сталь 08, 10, 15...85; чем выше число в марке, тем выше содержание С в сотых долях %;

– низколегированные (содержание легирующих элементов до 2,5%); например, 09Г2С, 14Г2;

– среднелегированные (содержание легирующих элементов от 2,5% до 10%); например, 35ХМЛ (Л – литье), 34НМА (А – высококачественная сталь);

– высоколегированные (содержание легирующих элементов более 10%); например, 12Х18Н10Т, 110Г13Л, 120Г13Х2Л.

Например, сталь 12Х18Н10Т или хромоникелевая сталь, используемая для изготовления внутривидных теплообменных устройств, подвергнутая коррозионно-механическому изнашиванию в газовом потоке при температуре 900÷1000°С.

Первые две цифры, стоящие перед буквами, обозначают содержание углерода в сотых долях %, а цифры после букв – содержание данного легирующего элемента в процентах. Если в сплаве находится легирующего компонента менее 1%, то содержание его не указывается. В приведенной марке стали содержится: С – 0,12%; Cr – 18%; Ni – 10%; Ti – менее 1%, Fe – остальное.

Таблица 2.2

Условное обозначение марок легированных сталей

Элемент	Zr	V	Nb	N	Ni	Cr	Mo	W	V	Si	Mn	Cu	Ti	Al	Cu
Обозначение	Ц	Р	Б	А	Н	Х	М	В	Ф	С	Г	Д	Т	Ю	К

Основными легирующими элементами для повышения коррозионной устойчивости, износостойкости, жаропрочности и др. показателей сталей являются Mn, Cr, Ni, Mo. Все они изменяют структуру и строение стали.

Легированные стали обычно в 4 и более раз дороже обычной стали. Поэтому сталь с более высокими механическими характеристиками для деталей оборудования получают путем ее термической и химико-термической обработки.

При термической закалке стали повышается прочность, твердость, износостойкость. Для снятия повышающейся при этом хрупкости стали детали подвергают дополнительной термообработке – отпуску.

Химико-термическая обработка включает процессы цементации, азотирования, цианирования, диффузную металлизацию поверхностного слоя деталей.

При *цементации* происходит насыщение поверхностного слоя углеродом на глубину 0,2 мм.

При *азотировании* глубина насыщения азотом составляет 0,3...0,6 мм.

*Цианирование* – совместное насыщение поверхности азотом и углеродом на глубину 0,01..1,8 мм.

*Диффузионная металлизация* включает процессы насыщения поверхности деталей алюминием (алитирование), хромом (хромирование), кремнием (силицирование), бором (борирование). Алюминий повышает коррозионную устойчивость; хром – устойчивость против газовой коррозии; кремний – кислотоупорность; бор – твердость, износостойкость, устойчивость против коррозии в различных средах.

Упрочнение обычной стали может быть достигнуто и применением методов механической обработки поверхности деталей: дробеструйным упрочнением, накаткой гладкими роликами или шариками, чеканкой, ротационно-ударным наклепом шариками и др.

Сплавы железа с углеродом, содержащие более 2,14% С называются *чугунами*. Различают: белый чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде  $Fe_3C$  (цементита); половинчатый чугун (0,8% С в виде  $Fe_3C$ ); серый чугун, в котором почти весь углерод находится в свободном состоянии. Кроме углерода в чугун входят примеси: Si – 0,5...4,5%, Mn – до 1,2%; P – не более 0,2%; S – до 0,1%.

Стоимость чугунов ниже стоимости сталей. Чугуны обладают удовлетворительной коррозионной устойчивостью, прочностью и редко используются для изготовления деталей оборудования (из-за плохой обрабатываемости).

В целях повышения указанных свойств чугуны также легируют хромом, кремнием, молибденом. Например,

Кремнистые чугуны хрупки, не подвергаются механической обработке, получают только литьем.

Для снижения стоимости деталей оборудования, подвергающихся абразивному изнашиванию, их изготавливают из обычной стали или чугуна, которые затем подвергают защите резиной, полиуретаном, твердыми сплавами.

Например, срок службы футеровки из резины в 2-3 раза больше, чем из марганцовистых сталей.

Сплавы цветных металлов такие, как бронза (медь+олово), баббит (олово+свинец+сурьма+медь) используются для изготовления подшипников скольжения во вращающихся печах, мельницах, редукторах, дробилках.

## 2.6. Основные понятия о надежности оборудования и технологической линии

*Надежность* – это комплексное свойство объекта, включающее безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохранность.

В теории надежности оперируют такими понятиями, как система, элемент, объект.

*Система* – это совокупность элементов, объединенных функционально и конструктивно.

*Элемент* – это неделимая часть системы (например, для редуктора – это подшипники, зубчатые колеса, валы и т. п.)

*Объект* – это совокупность системы и ее элементов.

Элемент и система может иметь два состояния: работоспособное и неработоспособное.

*Работоспособность* – это такое состояние объекта, когда он способен выполнять свои функции, сохраняя значения эксплуатационных показателей в пределах, установленных нормативно-технической документацией (НТД).

*Неработоспособность* – это состояние объекта, когда значение хотя бы одного из контролируемых параметров (функций) не соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Переход объекта от работоспособного к неработоспособному состоянию называется отказом.

*Безотказность* – это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или наработки. Под наработкой понимают продолжительность или объем работы объекта, выраженной в циклах, тоннах или др. единицах.

К показателям безотказности относятся вероятность безотказной работы, средняя наработка на отказ и др.

Безотказность – это важный показатель, но не решающий. В случае отказов объект подвергается ремонту и продолжает работать до какого-то предельного состояния.

Под предельным состоянием подразумевают состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена и требуется проведение капитального ремонта.

*Долговечность* – это свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Долговечность характеризуется техническим ресурсом и сроком службы.

*Технический ресурс* – это наработка объекта от начала эксплуатации до наступления предельного состояния.

*Срок службы* – это календарная продолжительность эксплуатации объекта в те же сроки.

Различие их в том, что в ресурс входит только время работы объекта, а в срок службы – и время простоев.

Безотказность и долговечность – дополняющие и связанные между собой показатели.

*Ремонтпригодность* – это свойство объекта и его элементов, поддаваться обнаружению и предупреждению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонта и технического обслуживания.

Основным показателем надежности объекта является *коэффициент технического использования*, характеризующий работоспособность оборудования в определенный промежуток календарного времени:

$$K_{Т.И.} = \frac{T - (t_p + t_o)}{T},$$

где  $T$  – календарное время эксплуатации оборудования;

$t_p$  и  $t_o$  – плановое время соответственно на ремонт и техническое обслуживание для восстановления работоспособности за время  $T$ .

Отказы оборудования классифицируют на внезапные (аварийные) и постепенные. Причиной первых является поломка оборудования, а вторых – его износ. При этом различают отказы элементов и параметров.

Отказ элемента – это выход из строя элемента, а отказ параметра – это нарушение параметра технологического режима системы при работоспособном состоянии элементов и всей технической системы в целом.

Отказы элементов характеризуют надежность технической системы, а отказы параметров – надежность технологической системы.

Уровень надежности технологической системы (технологической линии) зависит не только от видов входящего в нее оборудования, но и от характера их связи между собой.

При последовательной связи оборудования в линии отказ любого из них приводит к отказу всей линии. Надежность линии можно повысить введением параллельной связи в ее звеньях (дублирующего оборудования, склада-накопителя и т. п.).

Сохранность – это свойство объекта сохранять работоспособность при соблюдении правил транспортирования и хранения в течение длительного времени.

### **3. МАШИНЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СЫРЬЯ И МАТЕРИАЛОВ**

Перемещение сырья и материалов осуществляется с помощью различных видов транспорта и транспортных устройств. Различают транспорт карьерный и внутрицеховой или внутризаводской.

К карьерному относят прерывные виды транспорта: железнодорожный, автомобильный, а также непрерывные – конвейерный, гидравлический, подвесной.

Внутрицеховое или внутризаводское транспортирование сырья и материалов осуществляется, в основном, машинами непрерывного транспорта: конвейерами различных конструкций, элеваторами, пневмо- и гидротранспортными устройствами.

Различают конвейеры: с тяговым органом (ленточные, пластинчатые, скребковые) и без тягового органа (винтовые, роликовые, вибрационные конвейеры, самотечные желоба).

#### *3.1. Ленточные конвейеры*

Ленточные конвейеры – это машины для перемещения сыпучих и штучных грузов на бесконечной ленте, являющейся тяговым и рабочим органом.

Для них характерно перемещение материала и грузов по горизонтальной и/или наклонной плоскости с углом подъема до 20°.

Длина стационарных конвейеров может достигать 1000 м и более, а последовательно расположенные конвейеры могут использоваться для транспортирования на десятки километров.

По форме ленты различают плоские и лотковые ленточные конвейеры.

Лента представляет собой многослойный каркас, защищенный покрытием из натуральных и синтетических каучуков. Различают резинотканевые и резинотросовые ленты. Материалом для резинотканевых лент служат натуральные

ткани (хлопок, лен), искусственные (вискозные и ацетатные) и синтетические (капрон, лавсан). Ширина ленты составляет 100–3000 мм. Выпускают также специальные ленты: морозостойкие (до  $-45^{\circ}\text{C}$ ), теплостойкие с асбестовой прокладкой (до  $100^{\circ}\text{C}$ ), повышенной прочности (для конвейеров большой длины) с вмонтированными продольными стальными тросами диаметром 1,2–11,6 мм.

Скорость движения ленты может быть в пределах 0,63–6,3 м/с и зависит от вида транспортируемого материала.

Ленточный конвейер (рис. 3.1) состоит из замкнутой ленты, огибающей приводной 6 и натяжной 2 барабаны. Приводной барабан получает вращение от привода 8, состоящего, как правило, из электродвигателя и редуктора. Натяжной барабан 2 с помощью груза 1 позволяет увеличить сцепление между приводным барабаном и лентой. Роликоопоры 5 и 13, установленные на раме 10, поддерживают верхнюю 4 и нижнюю 12 ветви ленты. Для предотвращения сползания ленты с рабочих роликов на раме установлены боковые контрольные ролики 11 (рис. 3.1, б). Материал на ленту подается загрузочным устройством 3. Разгрузка материала может производиться с приводного барабана 6 через направляющий лоток 7 или специальными разгрузочными устройствами в любой точке конвейера с помощью специального сбрасывателя. Как правило, это щит, установленный под углом  $30\text{--}45^{\circ}$  к направлению движения потока материала. Он может быть одно- или двухсторонним. Первый применяется для частичной разгрузки материала. Недостаток использования сбрасывателей – повышенное истирание ленты материалом. Ленту от налипшего на нее материала очищают с помощью очистного устройства 9.

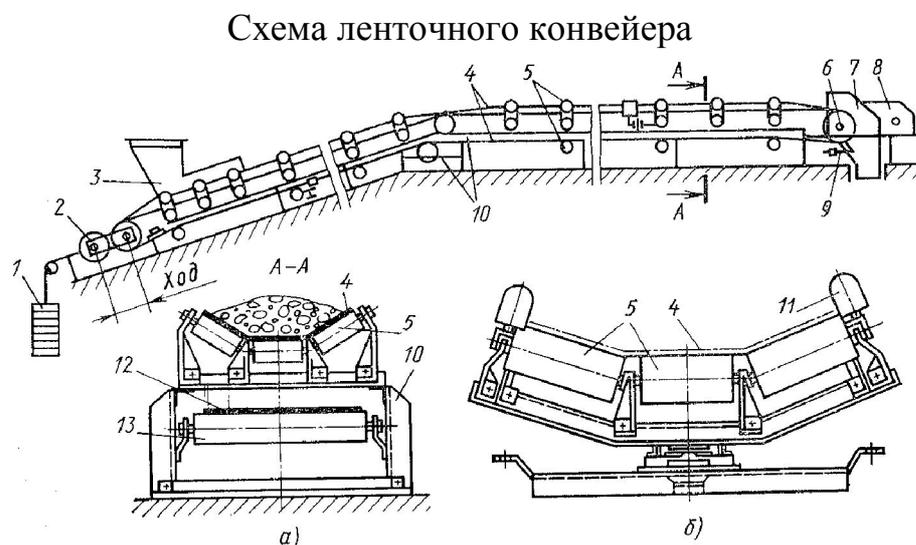


Рис. 3.1

Для плоских лент на грузовой и обратной ветви применяют однороликовые опоры. У лотковых конвейеров на грузовой ветви используют двух-, трех-, а иногда и пятироликовые опоры.

Угол наклона боковых роликов трехроликовых опор обычно составляет  $20^{\circ}$ .

Для увеличения тягового усилия приводной барабан покрывают прорезиненной лентой. При отключении электродвигателя у наклонного конвейера ленту от обратного ее движения удерживает стопорное устройство.

Диаметр приводного барабана может быть от 200 до 1600 мм, длина – ширины ленты на 100-200 мм.

Натяжные устройства конвейеров характеризуются усилием натяжения и величиной хода натяжного устройства. Кроме грузовых могут использоваться и винтовые натяжные устройства (рис. 3.2, а). Особенность их конструкции состоит в том, что натяжной барабан 1 закреплен в подвижных подшипниках 2, которые перемещаются относительно каркаса 3 с помощью винта 4 и гайки 5.

В длинных конвейерах используют грузовые натяжные устройства, преимущество которых заключается в постоянстве усилия натяжения.

Винтовое натяжное устройство

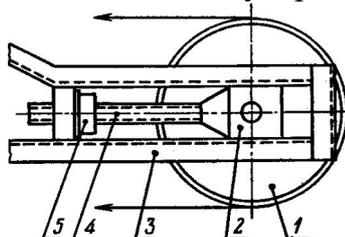


Рис. 3.2

Достоинства ленточных конвейеров: 1) простота конструкции; 2) высокая надежность в работе; 3) широкий диапазон производительности (2,77 – 560 кг/с); 4) значительная длина; 5) низкий расход электроэнергии.

Недостатки: 1) непригодны для транспортировки пылящих, горячих ( $t > 90^{\circ}\text{C}$ ) и сильно налипающих материалов; 2) могут работать лишь при незначительном угле подъема (до  $20^{\circ}$ ) и прямолинейном перемещении.

### 3.1.2. Пластинчатые конвейеры

По принципу действия они подобны ленточным.

Пластинчатый питатель (рис. 3.3) содержит цепной рабочий орган, состоящий из звеньев-пластин 7 с бортами 2. Эти звенья-пластины образуют грузонесущий настил и соединены пальцами 11, на которых установлены ролики 12. Движение пластинчатой цепи сообщается от электродвигателя через редуктор, цепную передачу, звездочка 10 которой через зубчатую передачу 8 передает вращение приводному валу 9 и тяговой звездочке 4, зубья которой захватывают ролики 12. Привод питателя также может осуществляться без промежуточной цепной передачи. Цепь натягивается винтовым устройством 6, перемещающим звездочку 1, и поддерживается роликами 3 и 5.

Скорость движения питателя составляет 0,03-0,6 м/с. При более высоких скоростях резко возрастают динамические нагрузки, возникающие вследствие неравномерности движения по звездочкам цепей с крупным шагом.

Достоинства пластинчатых конвейеров: 1) обладают большой грузоподъемностью; 2) могут транспортировать грузы с повышенной температурой; 3) способны перемещать сырьевые материалы при угле наклона конвейера до  $30^{\circ}$ .

Недостатки: 1) большая металлоемкость; 2) сложность конструкции; 3) небольшая дальность транспортирования (до 100 м).

## Пластинчатый питатель

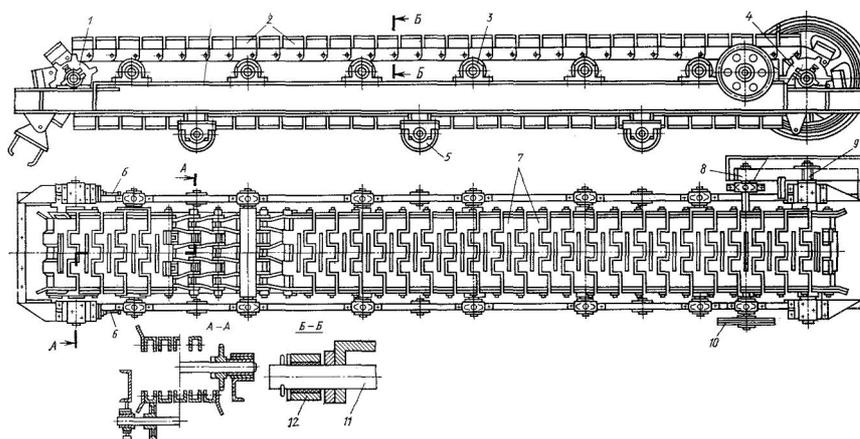


Рис. 3.3

### 3.1.3. Скребковые конвейеры

Скребковые конвейеры — это машины для непрерывного перемещения сыпучих материалов с помощью скребков, закрепленных на одной или двух тяговых цепях, движущихся по желобу высотой  $h_{жс}$  или по трубе.

Скребковые конвейеры применяются для транспортировки пылевидных, зернистых и мелкокусковых материалов, а также для перемещения и охлаждения грузов с повышенной температурой.

Основным признаком классификации скребковых конвейеров является форма и высота скребков  $h_c$ : различают конвейеры со сплошными (высокими и низкими) и фигурными (контурными) скребками. У высоких скребков  $h_c \approx h_{жс}$ , а у низких она примерно равна высоте тяговой цепи и составляет  $h_c = h_{жс} / (3-6)$ .

Трубчатые скребковые конвейеры со сплошными круглыми или прямоугольными скребками снабжены, как правило, одной тяговой цепью, и их выделяют в отдельную конструктивную разновидность.

Основными параметрами скребковых конвейеров являются размеры скребков ( $B_c \times h_c$ ), скорость движения цепи (0,16-0,4 м/с), длина транспортирования  $L$  и производительность  $G_p$ , которая может достигать 350 т/ч.

Скребковый конвейер (рис. 3.4, а) состоит из желоба 1, закрепленного на станине 2, натяжной 5 и приводной 8 звездочки, связанной с электродвигателем через редуктор. Транспортируемый материал перемещается по желобу скребками 7, закрепленными на тяговой цепи 6. В конвейерах с высокими скребками (рис. 3.4, б) скребки 7 прикреплены к осям катков 4, которые перемещаются по направляющим путям 3. В конвейерах с низкими скребками катков нет. Рабочая и обратная ветви конвейера размещены в закрытом желобе 1 (рис. 3.4, в); перекося цепи устраняется направляющим устройством 9. При транспортировке горячих материалов (например, огарка) конвейер снабжают системой водяной охлаждения 10.

У трубчатого скребкового конвейера (рис. 3.4, г) вместо желоба используется труба 11, внутри которой движется тяговая цепь 6 с закрепленными на ней скребками 7. Направление транспортировки в таких конвейерах может изменяться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

Достоинства конвейеров такого типа — простота конструкции, возможность загрузки и выгрузки в любой точке (кроме вертикальных участков), герметичность

конвейера, значительный угол подъема (до  $90^\circ$ ), возможность одновременно с перемещением груза выполнять технологические операции (охлаждение, нагрев, промывка и др.).

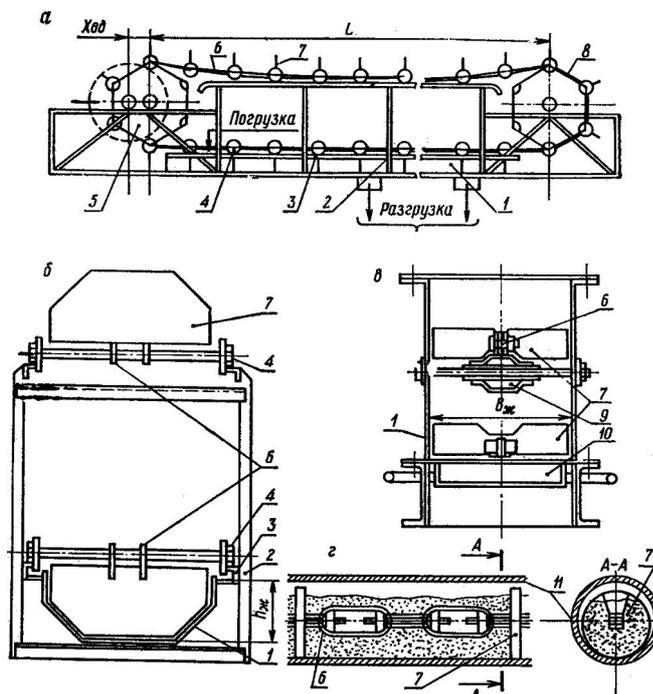


Рис. 3.4

Недостатки — повышенный расход энергии, повышенный износ цепи, скребков и желоба, особенно при транспортировке абразивных грузов, измельчение хрупких материалов, малая длина перемещения (до 100 м).

### 3.1.4. Винтовые (шнековые) конвейеры

Винтовые конвейеры (рис. 3.5) предназначены для прямолинейного перемещения сыпучих и мелкозернистых материалов с помощью винта (шнека).

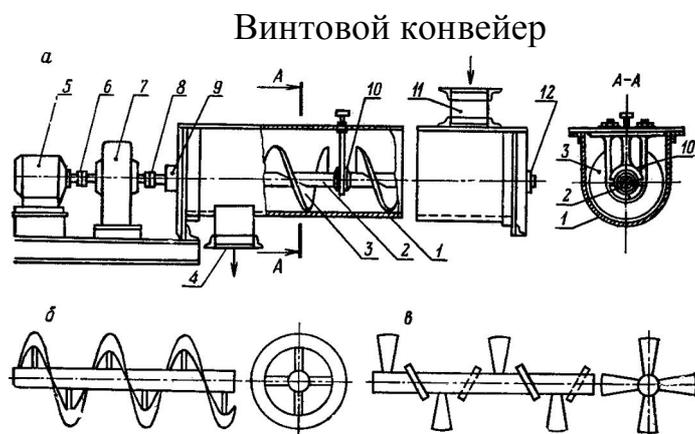


Рис. 3.5

У винтового конвейера в корытообразном корпусе размещается вал 2 (сплошной или трубчатый) с винтом 3, получающий вращение от электродвигателя 5 через редуктор 7. Вал обычно состоит из отдельных секций и опирается на

концевые 9, 12 и промежуточные 10 подшипники. Муфты 6 и 8 соединяют валы электродвигателя, редуктора и шнека. Транспортируемый материал загружается через патрубок 11 и выгружается через окно с затвором 4. Загрузка и выгрузка могут осуществляться в любой точке по длине конвейера.

В зависимости от свойств груза и назначения шнека применяет винты различных типов. Например, для хорошо сыпучих порошкообразных, зернистых и мелкокусковых материалов используют сплошные винты (рис. 3.5, а), при транспортировке влажных налипающих материалов, а также при необходимости перемешивания транспортируемой массы – ленточные (рис. 3.5, б), лопастные (рис. 3.5, в) или фигурные винты.

Двухвальные лопастные шнеки используются для смешения твердых веществ, а также в качестве реакторов при высоком содержании твердой фазы в продукте.

Достоинства винтовых конвейеров: 1) герметичность; 2) возможность проведения технологических операций (растворение, кристаллизация, сушка, охлаждение и др.) одновременно с транспортированием; 3) большой угол подъема (до  $90^\circ$ ); 4) простота конструкции; 5) надежность; 6) возможность загрузки и разгрузки в любой точке.

К недостаткам винтовых конвейеров относятся: 1) повышенный расход энергии; 2) малая длина транспортирования (до 40 м); 3) повышенный износ винта и корпуса; 4) истирание и дробление транспортируемого материала; 5) чувствительность к перегрузкам.

### *3.1.5. Ковшовые элеваторы*

Ковшовые элеваторы являются машинами непрерывного транспорта, предназначенными для вертикального или крутонаклонного (до  $60^\circ$ ) перемещения сыпучих, мелкокусковых и мелкоштучных материалов или грузов с помощью ковшей, размещенных на гибком тяговом органе.

Ковшовые элеваторы (рис. 3.6) состоят из замкнутого тягового органа 1 с жестко закрепленными на нем грузонесущими ковшами 2. Тяговый орган огибает приводной 11 и натяжной 10 барабаны (или звездочки) и размещается в металлическом кожухе 6. На нижней части кожуха (загрузочном башмаке 5) смонтировано натяжное устройство 4. Приводной барабан получает вращение от электродвигателя 9 через редуктор 8. Материал загружается в ковши через патрубок 3 и разгружается через патрубок 7 после опрокидывания ковшей при их огибании приводного барабана или звездочек.

Элеваторы классифицируют:

- 1) по скорости движения ковшей – на тихоходные (скорость, до 1 м/с) и быстроходные (скорость до 2 м/с);
- 2) по типу тягового органа – на цепные (рис. 3.6, а) и ленточные (рис. 3.6, б);
- 3) по расположению ковшей – с расставленными (рис. 3.7, а) и сомкнутыми (рис. 3.7, б) ковшами.

Ковши загружаются, зачерпывая груз из загрузочного башмака (рис. 3.7, а), или при засыпке его в ковши (рис. 3.7, б). Практически загрузка осуществляется двумя способами одновременно с преобладанием одного из них. В элеваторах,

применяемых для транспортирования грубомолотого сырья и мелкокускового материала, ковши наполняются зачерпыванием. В элеваторах, применяемых для транспортирования крупнокускового материала, ковши загружаются засыпанием. В таких элеваторах ковши располагают сомкнуто во избежание просыпания материала.

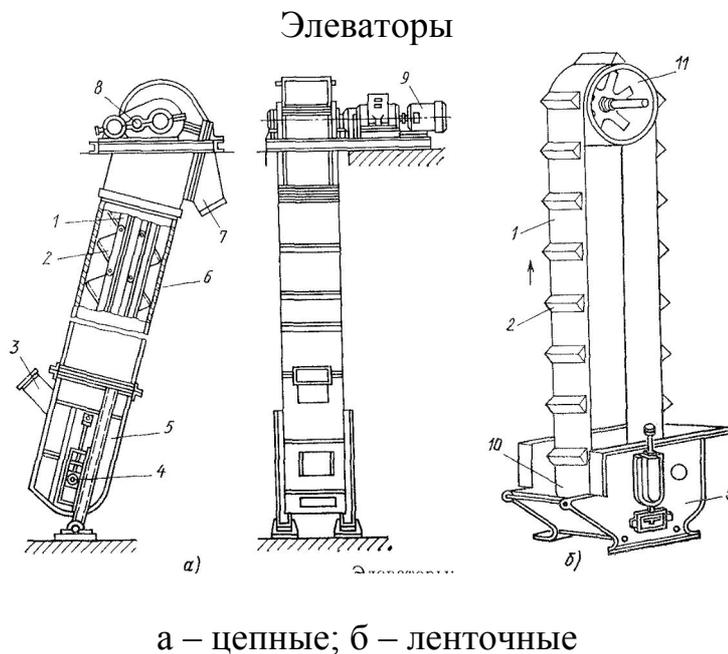


Рис. 3.6

Схема разгрузки и расположения ковшей элеватора

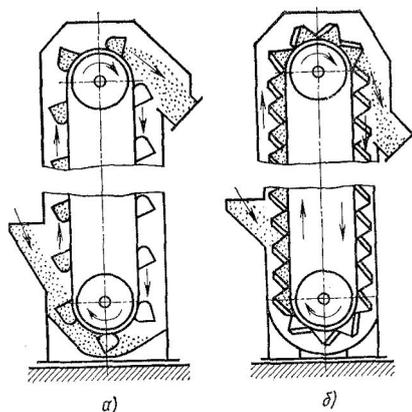


Рис. 3.7

Применение высоких скоростей движения позволяет осуществлять центробежную разгрузку ковшей при проходе их через верхний барабан (рис. 3.7, а). В тихоходных элеваторах разгрузка ковшей происходит за счет самотечного высыпания груза. Попадая при падении на боковую стенку предыдущего ковша, материал изменяет свою траекторию и полностью направляется в разгрузочный патрубок (рис. 3.7, б).

Для правильной установки разгрузочного патрубка быстроходного элеватора необходимо подбирать скорость тягового органа и диаметр барабана или звездочки так, чтобы материал не начал разгружаться перед верхним разгрузочным патрубком

(это возможно при слишком большой центробежной силе) или после перехода этого патрубка (при слишком малой центробежной силе).

Рекомендуется выбирать следующие соотношения диаметра  $D$  барабана и скорости  $v$  ленты или цепи: для высокоскоростного элеватора с центробежной разгрузкой  $D = 0,204v^2$ ; для быстроходного элеватора с центробежной и самотечной (смешанной) разгрузкой  $D = 0,245v^2$ ; для тихоходного элеватора с самотечной разгрузкой  $D = 0,6v^2$ .

Тяговым элементом в элеваторах являются прорезиненные ленты или цепи. В ленточных элеваторах это конвейерная резинотканевая лента такого же типа, как и в ленточных конвейерах. Ширину ее принимают на 40-50 мм меньше ширины ковша. Ковш к ленте крепят несколькими специальными болтами. В ленточных элеваторах при плавном и спокойном ходе ленты допускаются сравнительно большие скорости движения ковшей (до 3,5 м/с), но в результате невысокой прочности лент не приемлемы большие нагрузки. В цепных элеваторах при ковшах шириной до 0,35 м тяговый орган состоит из одной цепи, при ковшах большей шириной — из двух. В цепных элеваторах не допускаются высокие скорости (не более 1 м/с), но возможны очень большие нагрузки.

Для предотвращения самопроизвольного обратного вращения ленты или цепи, а также падения грузовой ветви при обрыве тягового элемента элеваторы оборудуют стопорными устройствами: храповыми или роликowymi остановами или электромагнитными тормозами.

Достоинства ковшовых элеваторов:

- 1) малые габаритные размеры;
- 2) широкий диапазон производительности ( $5 \div 600$  м<sup>3</sup>/ч);
- 3) значительная высота подъема (до 80 м).

Недостатки:

- 1) неравномерная подача материала;
- 2) возможность остановки при перегрузке.

### *3.1.6. Подвесной транспорт*

К нему относят подвесные канатные дороги, представляющие собой транспортные устройства для перемещения материалов в вагонетках по канатам, подвешенным на опорах над землей. Их эффективно используют на цементных заводах средней мощности, расположенных в горной местности, а также в равнинных условиях при пересечении технологических путей железнодорожными путями, автодорогами и т. п.

Подвесные канатные дороги по конструктивному признаку бывают одно- и двухканатные. У двухканатных подвесных дорог предусмотрено два каната: один — несущий, по нему катятся колеса вагонетки, другой — тяговый. У одноканатных дорог один канат служит одновременно несущим и тяговым органом. Одно- и двухканатные дороги выполняют с кольцевым и маятниковым движениями вагонеток. В первом случае тяговый канат замкнут в бесконечное кольцо, по одной линии дороги движутся груженные вагонетки, а по другой — порожние. Во втором случае вагонетку жестко прикрепляют к тяговому канату и она совершает

реверсивное движение между конечными пунктами дорог. Для увеличения производительности маятниковые подвесные дороги выполняют двухпутевыми.

Двухканатная кольцевая дорога (рис. 3.8) имеет конечные (загрузочную и разгрузочную) и промежуточные станции, между которыми натянуты несущие канаты 4. На конечных станциях канаты заменены полукольцом из жесткого рельса 1, по которому вагонетки 6 движутся с помощью подвесных толкающих конвейеров или самокатом. На загрузочной станции материал в вагонетки поступает из бункера 3. Автоматическую загрузку вагонеток ведут с применением весовых или объемных дозирующих устройств. Автоматическая выгрузка материала на разгрузочной станции происходит при опрокидывании вагонеток. Для возвращения их в исходное, положение загрузочная станция оборудована направляющим устройством (спиралью). Загрузочные вагонетки подключаются к тяговому канату 10 автоматически. Конструкция разгрузочных станций допускает прохождение вагонеток без отцепки от тягового каната.

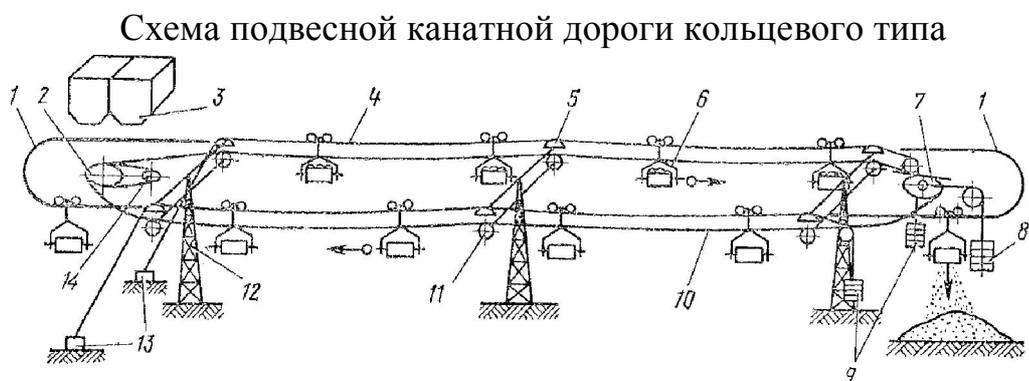


Рис. 3.8

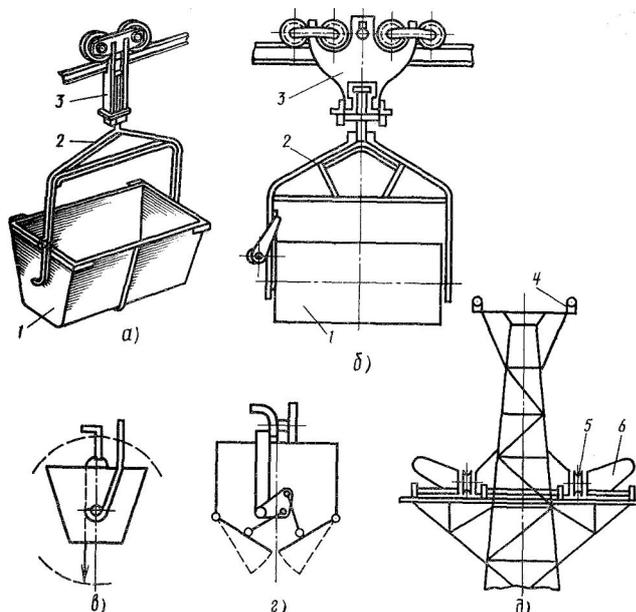
Ширина колеи канатной дороги обычно равна 3 м. На концах консоли верхней части опор 12 закреплены чугунные башмаки 5 с канавками для несущих канатов, облегчающих прохождение вагонеток по опорам, а также роликоопоры 11 тягового каната. Для создания натяжения каждый несущий канат с одной стороны закреплен на анкерных болтах 13, а с другой – натянут с помощью груза 9. Тяговый канат натянут через натяжной шкив 7 с помощью груза 8. При движении тяговый канат огибает ведущий шкив 2, получающий вращение от привода 14. В качестве несущих применяют канаты диаметром 30÷50 мм, а тяговых – канаты диаметром 26÷32 мм.

Вагонетки (рис. 3.9, а, б) состоят из кузова 1, подвески 2 и двух- или четырехколесной ходовой тележки 3 со сцепным устройством. Подвеску к тележке крепят шарнирно, чтобы кузов на наклонных участках пути сохранял вертикальное положение. По способу разгрузки различают два основных типа вагонеток: с опрокидывающимся кузовом (рис. 3.9, в) и с откидным днищем (рис. 3.9, г). Для вагонеток первого типа центр тяжести груженого кузова находится выше оси вращения, а порожнего – ниже. Это обеспечивает возврат кузова в исходное положение после разгрузки. Объем кузова кольцевых дорог 0,3÷1,6 м<sup>3</sup>, грузоподъемность 1÷3 т. Скорость движения вагонеток 0,8÷3,15 м/с.

Опоры дорог (рис. 3.9, д) выполняют металлическими или железобетонными. В верхней части опоры на фермах закрепляют опорные башмаки 4 для несущего

каната, поддерживающие ролики 5 для тягового каната и предохранительные дуги 6. Обычно высота опор 10÷15 м, расстояние между ними 80÷120 м.

### Составные элементы подвесных канатных дорог



*a, б* – вагонетка с ходовой тележкой; *в* – вагонетка с опрокидывающимся кузовом; *г* – вагонетка с откидным днищем; *д* – верхняя часть опоры

Рис. 3.9

Достоинства подвесных дорог – независимость от рельефа местности, возможность полной автоматизации, малая трудоемкость обслуживания.

Недостатки – относительно небольшая производительность, неустойчивость вагонеток при сильных поперечных ветрах, большие капитальные затраты.

### 3.1.7. Установки пневмотранспорта

Системы пневмотранспорта используют для перемещения различных, пылевидных и мелкозернистых материалов: цемента, извести, гипса и т.п.

В установках пневмотранспорта пылевидный или зернистый материал перемещается по трубам струей воздуха.

К достоинствам таких установок относятся:

- 1) полная герметичность и надежность в работе;
- 2) пригодность для транспортировки пылевидных, гигроскопичных и пожароопасных материалов;
- 3) незначительные потери транспортируемого материала;
- 4) простота устройства и компактность;
- 5) высокая скорость транспортирования;
- 6) возможность выполнения технологических операций (нагрев, сушка, охлаждение) одновременно с перемещением;
- 7) значительная длина транспортирования (до 1800 м).

Недостатки систем пневмотранспорта:

1) непригодны для транспортирования влажных, налипающих, высокоабразивных и кусковых материалов;

2) наблюдается значительный износ труб при перемещении абразивных грузов и повышенный расход электроэнергии.

Пневматические установки подразделяются на:

1) всасывающие (установки пневмотранспорта в разреженной фазе), в которых груз перемещается по трубе при давлении воздуха меньше атмосферного (до 0,01 МПа);

2) нагнетательные (установки пневмотранспорта в плотной фазе), в которых транспортируемый материал перемещается сжатым воздухом под давлением до 0,8 МПа;

3) смешанные (всасывающе-нагнетательные), в которых часть трубопровода работает под разрежением, а часть под давлением;

4) гравитационный транспорт, где материал перемещается под действием силы тяжести, а воздух подают только для псевдоожижения слоя в целях уменьшения сил трения.

Любая установка пневмотранспорта состоит из загрузочного устройства, трубопровода, разгрузочного устройства, аппаратов для очистки транспортирующего воздуха и воздуходувной машины (вакуум-насоса, воздуходувки или компрессора).

В установке всасывающего типа (рис. 3.10, *а*) транспортируемый материал через загрузочное сопло 1 вместе с воздухом засасывается в трубопровод 2. Основное количество материала отделяется в разгрузителе 3 и через шлюзовой затвор 4 (например, секторный питатель) выгружается из системы. Циклон 5 и рукавный фильтр 6 служат для очистки транспортирующего воздуха от пыли, а вакуум-насос 7 засасывает воздух из атмосферы через сопло (рис. 3.10, *б*) и выбрасывает его в атмосферу. Такие установки удобно использовать для разгрузки вагонов и сбора материала из 2÷4 точек в одно место. Расстояние транспортирования обычно составляет 15÷20 м, но может достигать 60 м.

Недостатки установок всасывающего типа: высокий расход энергии на транспорт из-за низкой концентрации материала в воздухе (не более 10 кг/кг) и высокой скорости воздуха (20÷30 м/с), а также попадание пыли в воздуходувную машину.

Установки нагнетательного типа (рис. 3.10, *в*) более экономичны, чем всасывающие. Благодаря большей плотности воздуха в них допускается концентрация твердого материала до 100 кг/кг и выше. Транспортируемый материал из бункера 9 через питатель 4 подают в трубопровод 2, в который поступает воздух из компрессора (воздуходувки) 8. После отделения материала в разгрузителе 3 и очистке от пыли в фильтре 6 воздух выбрасывают в атмосферу. В данном случае компрессор работает на чистом незапыленном воздухе. Перепад давления между концами транспортирующей сети может составлять 0,5÷1,3 МПа, а расстояние перемещения груза достигает 1800 м. Нагнетательные установки могут подавать материал из одного склада в несколько цехов.

Установки пневмотранспорта с камерными насосами (рис. 3.10, *г*) наиболее экономичны, так как в них концентрация транспортируемого материала в воздухе может достигать 500 кг/кг. Эти установки используют для подачи разнообразных

материалов на значительную высоту (60÷100 м). Из бункера 9 винтовым питателем 12 транспортируемый материал подается в камеру через клапан 11. После заполнения камеры клапан автоматически закрывается и в камеру поступает сжатый воздух от компрессора 8. Часть воздуха поступает через аэрирующее устройство 10. Материал с воздухом по трубопроводу 2 подается в силосный бункер 13, который одновременно служит отделителем. Воздух очищается от пыли в фильтре 6 и выбрасывается в атмосферу. Камерный насос работает периодически. Для повышения равномерности подачи, как правило, устанавливают два попеременно работающих насоса.

### Установки пневмотранспорта

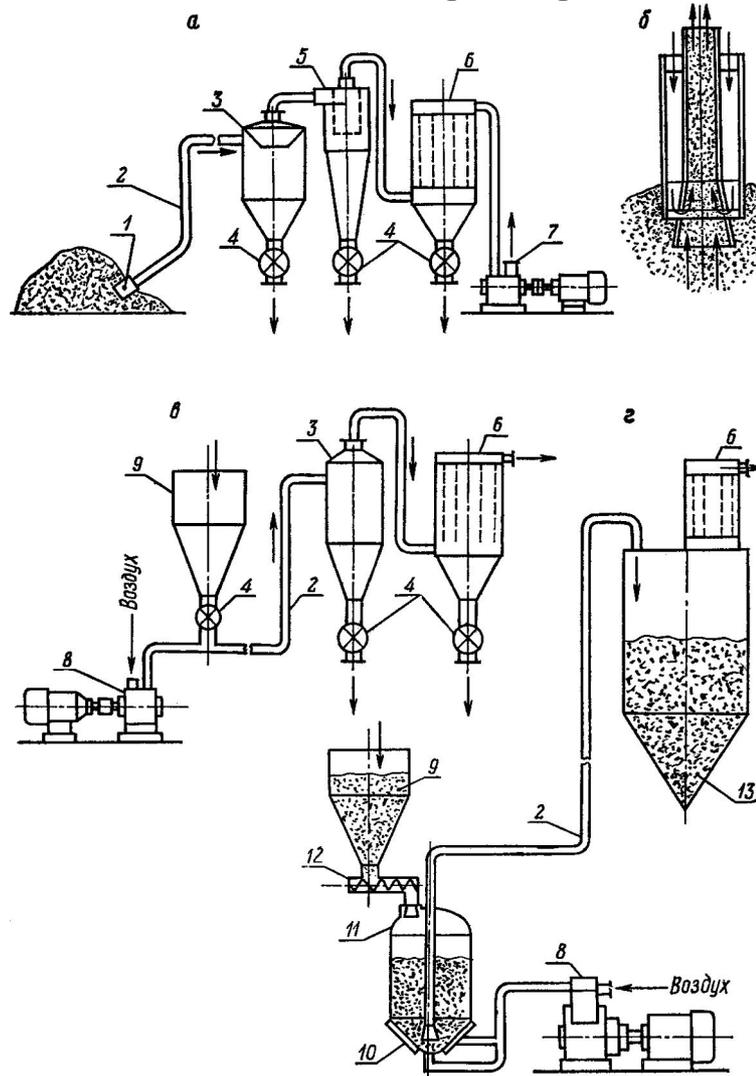


Рис. 3.10

Экономичность и надежность работы устройств пневмотранспорта зависит от концентрации транспортируемого материала в воздухе и скорости воздуха в трубопроводе. Допустимая концентрация материала  $\mu_n$  (кг/кг воздуха) зависит от плотности и размера частиц, а также от системы пневмотранспорта.

Для создания воздушного потока в пневмотранспортных установках используются вакуумные насосы, компрессоры, вентиляторы (роторные, центробежные, поршневые). В качестве трубопроводов применяются стальные

трубы диаметром 50÷300 мм. Для всасывающих установок используются еще и гибкие трубопроводы.

### 3.1.8. Пневматический винтовой насос

Пневмовинтовой насос (рис. 3.11) работает следующим образом. Материал, поступающий через шибер в загрузочный корпус, захватывается заборными витками шнека с большим шагом и подается во внутреннюю часть цилиндра, в который запрессовываются сменные гильзы. Материал из сменных гильз напорными витками шнека через обратный клапан подается в смесительную камеру насоса. Радиальный зазор между внутренней поверхностью гильзы и наружным диаметром шнека 0,3-1,5 мм. В смесительную камеру через форсунки подается сжатый воздух под давлением 0,3-0,4 МПа, который смешивается с материалом. Под давлением сжатого воздуха (скорость струи выше 100 м/с) материал выносится в транспортный трубопровод.

Схема пневматического винтового насоса

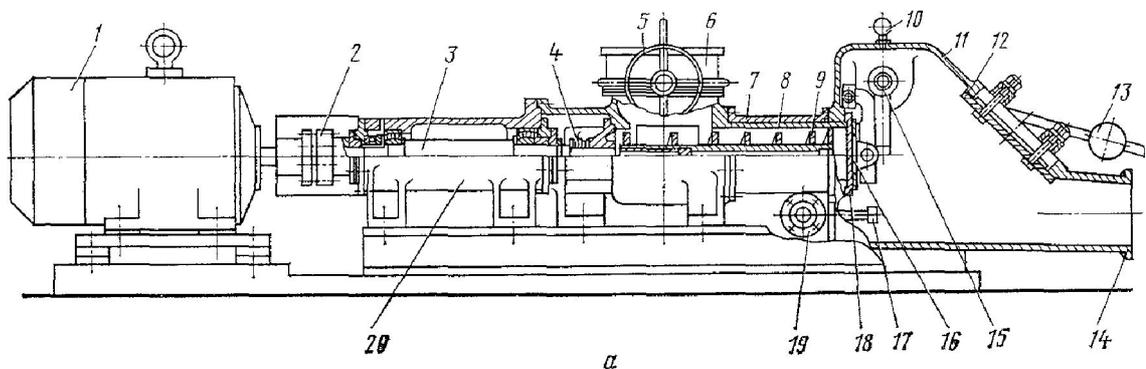


Рис. 3.11

Производительность винтовых пневматических насосов 60-110 т/ч, расход воздуха 50-130 м<sup>3</sup>/мин.

Достоинства пневмовинтовых насосов:

- 1) компакты;
- 2) высокопроизводительны.

Недостатки:

- 1) быстрое изнашивание винтовой лопасти.
- 2) большой расход электроэнергии.

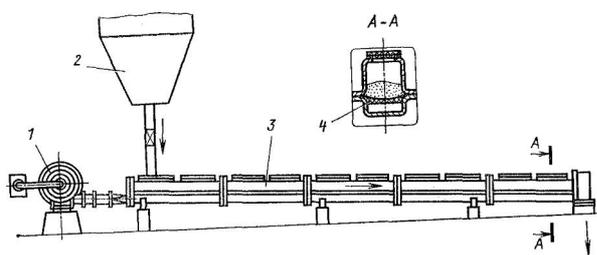
### 3.1.9. Аэрожелоба

Применяются для прямолинейного транспортирования порошкообразных и мелкозернистых материалов на расстояние 50÷100 м. Уклоны аэрожелобов должны быть не менее 6%, а для сырьевой и клинкерной крупки в пределах 15÷20%.

Аэрожелоб (рис. 3.12) представляет собой закрытый лоток 3, разделенный пористыми аэроплитами 4 (микропористыми керамическими плитками) или специальной пористой тканью на 2 канала. В нижний канал лотка вентилятором 1 нагнетается воздух, который проходит через перегородку и насыщает цемент, поступающий из бункера 2 в верхний канал лотка. В результате аэрации материал

приобретает текучесть и стекает вниз по желобу с большой скоростью. Выгрузка может осуществляться в любой точке желоба по патрубку. Отработанный воздух из желоба подается на очистку в рукавные фильтры.

Схема аэрожелоба



1 – центробежный вентилятор; 2 – бункер; 3 – лоток; 4 – аэроплиты

Рис. 3.12

Ширина желоба составляет 125÷500 мм при производительности 20÷125 м<sup>3</sup>/ч, длина – не более 50 м. Средний расход воздуха составляет 1,4 м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>2</sup> поверхности пористой перегородки.

Аэрожелоба не допускают подачи под пористую перегородку влажного воздуха. Поэтому после вентилятора устанавливают иногда фильтр.

### 3.1.10. Пневмоподъемники

Это устройства для непрерывной вертикальной подачи материала. Применяются в производстве цемента по сухому способу для подачи сырьевой муки в циклонные теплообменники (в газоход между 3-ей и 4-ой ступенями). Являются разновидностью нагнетательной пневмотранспортной установки.

Установка состоит из двух камерных пневмоподъемников и трех воздуходувок (одна резервная) с системой подачи воздуха. Пневмоподъемник (рис. 3.13) представляет собой цилиндрический вертикальный корпус 3 с конической нижней частью и плоской крышкой. Высоту корпуса изменяют в зависимости от насыпной плотности сырьевой муки путем изменения числа смонтированных секций 4. К днищу корпуса крепят головку 2 подачи воздуха и подводный трубопровод 1 с ответвляющимся трубопроводом 11 подачи воздуха на аэрацию. Между конической частью корпуса и головкой подачи воздуха установлена перегородка 12 с отверстиями, на которой закреплена пористая аэрирующая перегородка 10 и сопло 9. Внутри корпуса смонтирована транспортная труба 7 со сменными вставками 6 и 8, а также установлены датчики уровня. В крышке предусмотрены люки: загрузочный 5, разгрузочный, смотровой и два аспирационных.

Работа установки пневмоподъемников осуществляется следующим образом. От воздуходувок воздух подают через сопло в нижний открытый конец транспортного трубопровода и одновременно в полость, образованную перегородкой 12 и конусом 13. Через загрузочный люк 5 пневмоподъемник загружают мукой от дозирующего устройства.

### Схема пневмоподъемника

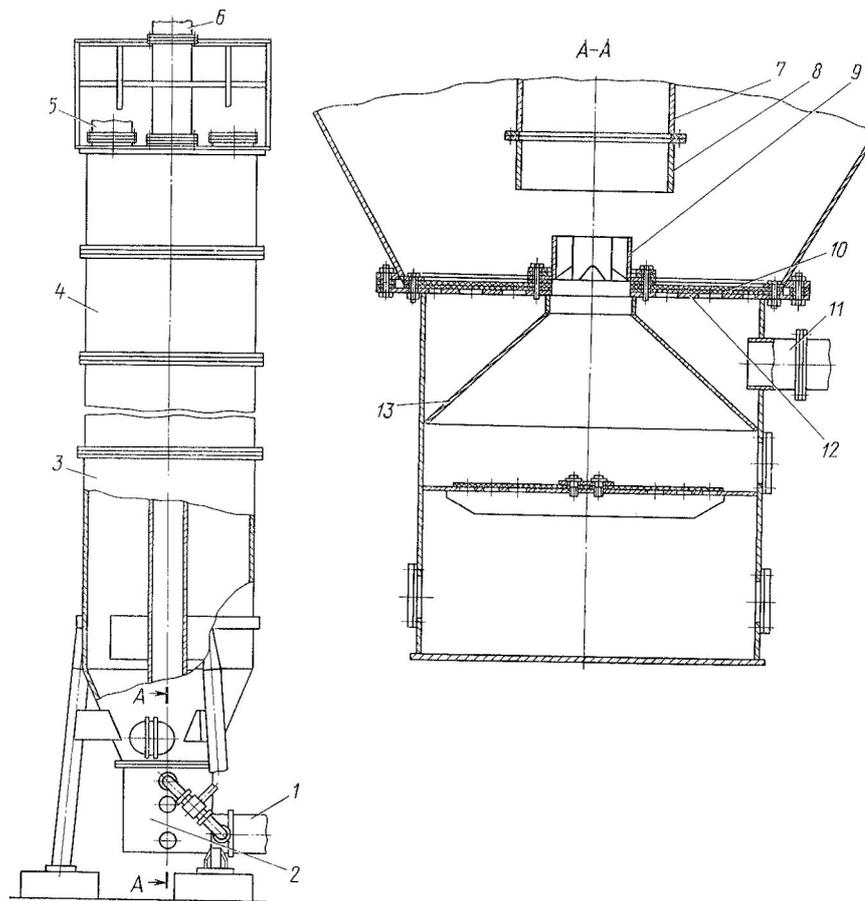


Рис. 3.13

Проходя через пористую перегородку 10, воздух аэрирует нижние слои материала, в результате чего материал переходит во взвешенное состояние, поступает к транспортному трубопроводу, увлекается потоком воздуха и транспортируется вверх.

Уровень заполнения корпуса пневмоподъемника контролируют датчиками.

Производительность составляет  $70 \div 250$  т/ч, высота подъема материала  $60 \div 90$  м, высота корпуса  $7 \div 9,5$  м, диаметр  $1,4 \div 2,5$  м, мощность электродвигателей  $250 \div 800$  кВт.

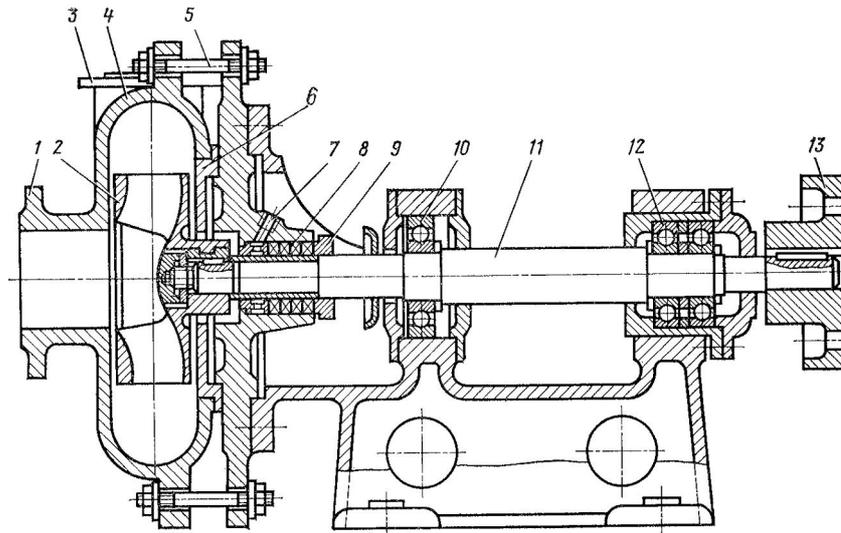
#### 3.1.11. Гидравлический транспорт

Применяется для перемещения шлама на расстояние до 10 км и более. Включает систему трубопроводов и насосные станции, количество которых в зависимости от рельефа местности, может достигать 6 и более.

Все применяемые насосы являются центробежными. Принцип действия их заключается в том, что напор пульпы (обычно  $0,5 \div 2,5$  МПа) создается быстровращающимся (до 1500 об/мин) лопастным колесом. Одним из наиболее распространенных является шламовый насос 6ФШ-7А (рис. 3.14).

Его производительность составляет  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ , напор 6 МПа, частота вращения вала электродвигателя 24,5 об/с, мощность электродвигателя 125 кВт.

## Схема шламового насоса 6ФШ-7А



- 1 – всасывающий патрубок; 2 – рабочее колесо; 3 – нагнетательный патрубок;  
4 – корпус (улитка); 5 – шпилька; 6 – крышка; 7 – отверстие в ступице;  
8 – набивка; 9 – гайка; 10, 12 – подшипниковые опоры; 13 – пальцевая муфта

Рис. 3.14

Корпус насоса имеет форму улитки. Всасывающий патрубок находится в ее центре, а нагнетательный расположен по касательной к цилиндру рабочей зоны улитки. Рабочее колесо содержит спиральные лопасти, консольно насажено на вал и закреплено с помощью гайки и контргайки. Крышка посажена на сальниковое уплотнение с мягкой набивкой, предохраняющей вал от воздействия шлама. Через кольцо сальника подается чистая вода (до  $14 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) под давлением на  $0,05 \pm 0,1 \text{ МПа}$  больше рабочего напора насоса.

Шлам подводится к насосу самотеком. На всасывающем и нагнетательном патрубке установлены шламаздвижки. Насос оборудуется манометрами и амперметром для измерения нагрузки электродвигателя. Для насоса устанавливаются нормально допустимые значения этих нагрузок.

## 4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

### 4.1. Теоретические основы процесса измельчения

Измельчение – это процесс последовательного уменьшения размера кусков твердого материала от первоначальной (исходной) крупности до требуемой.

В зависимости от конечной крупности кусков материала различают следующие виды измельчения: дробление и помол.

Границей, разделяющей эти два процесса измельчения, считается размер частиц 5 мм. По крупности частиц дробленного материала различают дробление:

- крупное (размер частиц от исходных кусков горной породы обычно от 1500 мм до 100-350 мм);
- среднее (до 40-100 мм);
- мелкое (до 5-40 мм).

Для характеристики процесса измельчения (дробления) пользуются показателем, называемым степенью измельчения, под которым понимают отношение средневзвешенного размера кусков исходного материала к средневзвешенному размеру кусков готового продукта:

$$i = D_{св}/d_{св},$$

где  $D_{св}$ ,  $d_{св}$  – средневзвешенные размеры кусков (эти размеры определяются по ситовому анализу).

$$d_{св} = d_1 \cdot m_1 + d_2 \cdot m_2 + \dots + d_n \cdot m_n / 100,$$

где  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_n$  – средний размер классов по крупности, мм;

$m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_n$  – содержание этих классов, %.

Класс – это фракция частиц между двумя рядом находящимися в наборе ситами. Так при наборе сит 5, 10, 15, 20 мм образуются классы 0-5 (или -5), 5-10, 10-15, 15-20. Остаток на сите 20 мм называют классом +20.

Крупность исходного и конечного продуктов измельчения, а также его зерновой состав также характеризуют процессы измельчения.

Зерновой состав продуктов измельчения выделяют ситовым анализом по рассеиву пробы на наборе сит с круглыми отверстиями.

Масса пробы (в кг) определяется по формуле:

$$P = 0,02d^2 + 0,5d,$$

где  $d$  – максимальный размер зерна, мм.

### *Свойства измельчаемых материалов*

При создании и выборе оборудования для дробления (измельчения) учитываются физико-механические свойства материалов: прочность, крупность, абразивность и др.

Прочность – это свойство горной породы сопротивляться разрушению при возникновении внутренних напряжений, появляющихся от приложения внешней силы.

Ее количественным показателем являются пределы прочности при сжатии, растяжении, изгибе и др.

По пределу прочности при сжатии горные породы разделяются на следующие типы:

- особопрочные (>250 МПа);
- прочные (150-250);
- средней прочности (80-150);
- мягкие (до 80).

Хрупкость – свойство горной породы разрушаться без заметных пластических деформаций. Ее определяют числом ударов гири массой 2 кг, падающей с определенной высоты.

По хрупкости породы подразделяются на следующие типы:

- очень хрупкие (до 2 ударов);
- хрупкие (2 – 5 ударов);
- вязкие (5 – 10 ударов);
- очень вязкие (>10 ударов).

Абразивность – способность перерабатываемого материала изнашивать рабочие органы машины. Выражают ее в граммах износа эталонных бил, отнесенных к 1 т перерабатываемого материала.

Показатель абразивности определяют при окружной скорости ротора прибора (модель роторной дробилки) 30 м/с.

Горные породы в зависимости от абразивности делятся на 5 классов и 10 категорий абразивности, показатель абразивности которых изменяется от 1 до 500 и более г/т.

### *Основные законы измельчения. Энергоемкость процесса.*

Процесс дробления зависит от физико-механических свойств измельчаемого материала, состояния поверхности кусков, величины и формы кусков, формы дробящих органов машины, их траектории и скорости, взаимного расположения кусков и дробящих органов и др.

В настоящее время нет единой универсальной теории измельчения. Существует несколько законов (теорий) измельчения

– закон поверхностей, предложенный П. Риттингером в 1867 г.;

– закон объемов, предложенный В.Л. Кирпичевым в 1874 г. и чуть позже Ф. Киком в 1885 г.;

– закон академика П.А. Ребиндера (1940 г.);

– закон Ф. Бонда, предложенный в 1951 г.

Согласно первому закону об измельчении или закону поверхностей: работа, расходуемая на измельчения материала прямо пропорциональна вновь образованной поверхности:

$$A = k_R \cdot D^2,$$

где  $D$  – средневзвешенный размер исходного куска кубической формы, м;  
 $k_R$  – коэффициент пропорциональности между затраченной работой и вновь образованной поверхностью (определяется экспериментально для каждого вида материала, типа дробилки и др. условий, что снижает практическую ценность данной формулы).

Закон Риттингера применим для приближенного определения полной работы только в случае с большими степенями измельчения, т. е. при измельчении в мельницах, так как им учитывается лишь работа, затрачиваемая на образование новых поверхностей.

Согласно второму закону измельчения или закону объемов Кирпичева-Кика работа измельчения пропорциональна объему или весу измельчаемого куска материала, т. е.

$$A = k_K \cdot D^3,$$

где  $k_K$  – коэффициент пропорциональности;

$D$  – диаметр разрушаемого куска кубической формы, м.

По закону Кирпичева-Кика полную работу измельчения можно определить приближенно лишь для случая крупного дробления с малой степенью дробления, так как им учитывается только работа на деформацию.

Таким образом, для процесса дробления, когда величина образуемых поверхностей относительно невелика, наиболее приемлем закон объемов. Для процесса помола материала, когда интенсивно образуются новые поверхности, более приемлем закон поверхностей.

Согласно закону измельчения, предложенному Ребиндером, при деформации твердых тел происходит накопление внутренней энергии, которая при достижении критического значения приводит к его разрушению.

Закон измельчения, предложенный Бондом, называют третьим законом измельчения. Он представляет собой объединение первых двух законов:

$$A = k_B D^{2.5},$$

где  $k_B$  – коэффициент пропорциональности.

Ребиндером предложена формула, объединяющая работу на деформацию кусков и образование новых поверхностей:

$$A = k_1 \cdot D^3 + k_2 \cdot D^2,$$

где  $k_1, k_2$  – коэффициенты пропорциональности.

Развивая свою гипотезу и анализируя процесс разрушения кусков материала, Ребиндер пришел к выводу, что работа измельчения  $A$  расходуется на упругую деформацию  $A_y$ , пластическую деформацию  $A_{п}$ , образование новой поверхности  $A_{пов}$  и придание разделяющимся частям куска кинетической энергии  $A_k$ :

$$A = A_y + A_{п} + A_{пов} + A_k.$$

Работу Ребиндера по теоретическому изучению процессов измельчения продолжил его ученик Ходаков. В предложенном им законе появились еще две составляющие:

$$A = A_y + A_{п} + A_{пов} + A_T + A_{ип},$$

где  $A_T$  – работа, затрачиваемая на трение между частицами, Дж;

$A_{ип}$  – работа, затрачиваемая на пластическую деформацию после достижения минимального критического размера частиц, Дж.

Ходаков установил, что измельчение любого материала, даже самого хрупкого (например, корунд), сопровождается существенной пластической деформацией. Причем пластической деформации подвергаются тонкие слои материала на границе разрыва его составных частиц. Толщина этого тонкого (аморфизированного) слоя составляет  $1 \div 30$  нм. Этот слой обладает повышенной химической активностью и именно он является причиной механической активации материалов.

С уменьшением крупности частиц пластически деформированный слой приближается к их размеру и начинает оказывать преобладающее влияние на разрушение частиц в целом. Измельчение сопровождается значительным увеличением затрат энергии. Затем наступает момент, когда при каком-то минимальном размере частицы, воспринимая разрушающее воздействие, подвергаются лишь пластической деформации и почти прекращают измельчаться. Размер таких частиц для каждого материала разный.

На основании законов измельчения были выведены формулы для расчета мощности электродвигателя дробилок и мельниц.

При измельчении энергия затрачивается на преодоление межкристаллических, внутрикристаллических и молярных сил. При дроблении она затрачивается в основном на преодоление межкристаллических сил. Установлено, что непосредственно на разрушение кусков материала расходуется незначительная часть энергии. Большая ее часть тратится на трение в механизмах машин, нагревание материала и др. КПД дробилок находится в пределах  $20 \div 40\%$ .

Эффективность работы дробилок оценивается расходом энергии (кВт·ч/т) и выражается формулой:

$$\mathcal{E} = E/G,$$

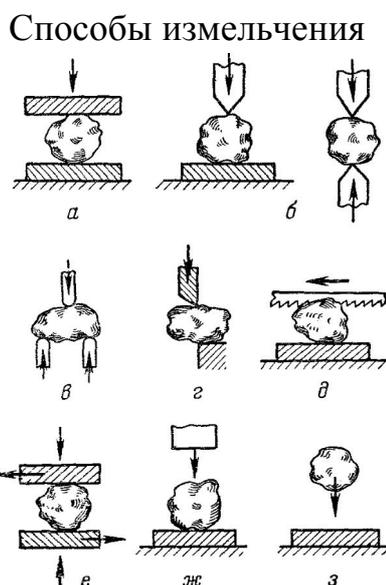
где  $E$  – затраты энергии на измельчение материала, кВт·ч;

$G$  – масса измельченного материала, т.

На основании законов измельчения выводятся формулы определения мощности, потребляемой электродвигателем измельчающей машины.

#### 4.2. Способы измельчения

Измельчить твердый материал до частиц желаемого размера можно раздавливанием, раскалыванием, разламыванием, резанием, распиливанием, истиранием, ударом и различными комбинациями этих способов (рис. 4.1).



$a$  – раздавливание;  $b$  – раскалывание;  $c$  – разламывание;  $d$  – резание;  $e$  – истирание;  $ж$  – стесненный удар,  $з$  – свободный удар

Рис. 4.1

Выбор способа измельчения осуществляется в зависимости от свойств сырьевого материала, а также от исходного и конечного размера его кусков. Например, для твердых и хрупких используют раздавливание в сочетании с раскалыванием и (или) изгибом, а для мягких и вязких - предпочитают истирание с раздавливанием и (или) изгибом.

#### 4.3. Классификация машин для измельчения

Все машины, используемые для измельчения, условно подразделяются на две группы: дробилки и мельницы. К первым относятся аппараты, применяемые для дробления крупных кусков материала до размера 1-5 мм, а ко вторым – для получения тонко измельченного порошкообразного материала с размером частиц от 0,1-0,3 мм до долей микрометра.

По принципу действия дробилки подразделяются на:

– *щековые*, измельчающие материал в пространстве между двумя щеками при их периодическом сближении;

– *конусные*, разрушающие материал между двумя коническими поверхностями, одна из которых движется эксцентрично по отношению к другой;

– *валковые*, раздавливающие материал между двумя валками, вращающимися навстречу друг другу;

– *ударного действия*, в которых дробление осуществляется в основном за счет удара материала молотками или билами и об отражательные плиты.

В свою очередь, по принципу действия мельницы подразделяются на:

– *барабанные*, измельчающие материал во вращающемся или вибрирующем барабане;

– *среднеходные*, разрушающие материал между каким-либо основанием и рабочей поверхностью шара, вала, ролика;

– *ударные*, измельчающие материал ударами шарнирных или жестко закрепленных молотков;

– *струйные*, разрушающие материал за счет трения и соударения его частиц между собой и о стенки камеры.

#### 4.4. Стадийность измельчения (дробления)

Каждой конструкции дробильной машины при максимальной ее производительности соответствует оптимальная степень измельчения (дробления). Например, для щековых и конусных крупного дробления  $i = 3-7$ , для молотковых дробилок  $i = 3-4,5$ .

И если следует раздробить породу, добываемую в карьере, со средним размером кусков 1 м до размера кусков 5-40 мм, с которым она поступает на помол, то степень измельчения должна составить  $i = 1000/(5 \div 40) = 25-200$ .

В этом случае дробление проводится в несколько стадий, т. е. последовательно устанавливают ряд дробильных машин, различных по конструкции и техническим характеристикам. При этом постепенно переходят от крупного к среднему и затем мелкому дроблению. Благодаря этому измельчение происходит более эффективно и при меньших затратах энергии. Из измельчаемого материала все время должна удаляться фракция готового продукта, которая в случае ее не выделения распределяется между крупными кусками, повышает упругость измельчаемой массы, увеличивает циркуляционную нагрузку на дробилку, снижает ее производительность, приводит к перерасходу энергии.

Применяют в зависимости от исходных размеров кусков и характеристики материалов одно-, двух-, трех- стадийные схемы дробления.

Наиболее эффективным и распространенным является двухстадийное дробление. Для первичного (крупного) дробления сырьевых материалов применяют щековые, конусные, валковые дробилки, для вторичного – молотковые, конусные дробилки.

Общая степень дробления будет равна произведению степеней, достигнутых на каждой стадии дробления:

$$i_{\text{общ}} = i_1 \cdot i_2$$

Различают открытый и замкнутый цикл дробления машинами.

При дроблении по открытому циклу материал проходит через дробильную машину только один раз, при замкнутом – крупные фракции оставшиеся на сите материала после грохочения возвращаются на повторное дробление.

#### 4.5 Щековые дробилки

Применяются в качестве основной машины для крупного и среднего дробления особо прочных пород ( $\sigma_{сж} \leq 300$  МПа).

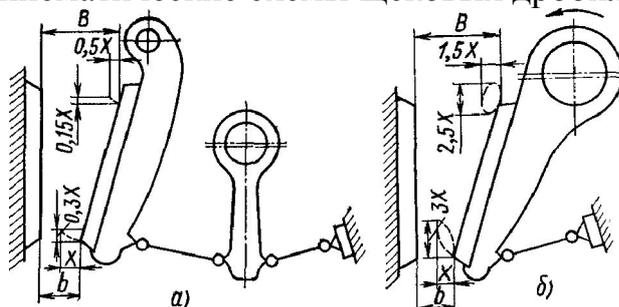
Принцип работы щековой дробилки заключается в следующем. В камеру дробления, имеющую форму клина и образованную двумя щеками, из которых одна является неподвижной, а другая подвижной, подается материал. Благодаря клинообразной форме камеры дробления куски материала располагаются по высоте камеры в зависимости от их крупности: более крупные – вверху, менее крупные – внизу. Подвижная щека периодически приближается к неподвижной, причем при сближении щек (ход сжатия) куски материала дробятся. При удалении подвижной щеки (холостой ход), куски материала продвигаются вниз под действием силы тяжести и выходят из камеры дробления, если их размеры меньше размера разгрузочной щели, или занимают новое положение, соответствующее своему новому размеру. Затем цикл повторяется.

В зависимости от кинематических особенностей щековые дробилки можно разделить на две основные группы:

– дробилки с простым движением подвижной щеки (рис. 4.2, а), в которых движение от кривошипа к подвижной щеке передается определенной кинематической цепью, а траектории движения точек подвижной щеки представляют собой части дуги окружности;

– дробилки со сложным движением подвижной щеки (рис. 4.2, б), кривошип и подвижная щека которых образуют единую кинематическую пару, а траектории движения точек подвижной щеки представляют собой замкнутые кривые, чаще всего эллипсы.

Кинематические схемы щековых дробилок



а – с простым движением щеки; б – со сложным движением щеки

Рис. 4.2

Щековая дробилка для крупного дробления с простым движением подвижной щеки (рис. 4.3) состоит из следующих основных деталей и узлов: 1 – станина (неподвижная щека); 2 – футеровочные плиты; 3 – подвижная щека; 4 – ось; 5 – эксцентриковый вал; 6 – шатун; 7 – пружина; 8 – тяга; 9 – сухарь

регулирующего устройства; 10, 11 – распорные плиты; 12, 13 – дробящие плиты; 14 – фрикционная муфта; 15 – шкив-маховик; 16 – маховик.

### Щековая дробилка для крупного дробления

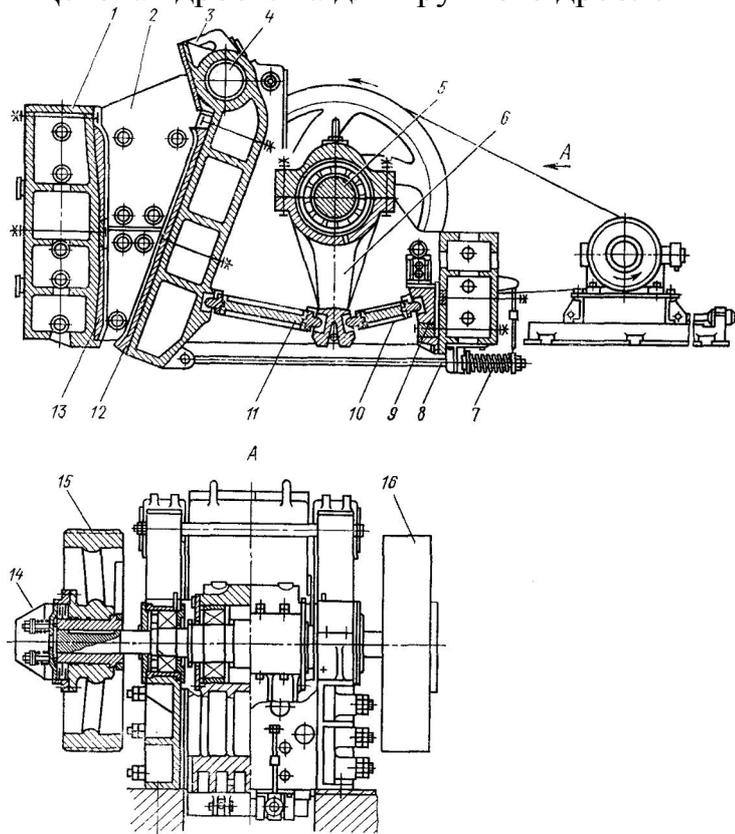


Рис. 4.3

Периодичность работы щековой дробилки из-за наличия холостого хода и хода сжатия вызывает неравномерную нагрузку на приводной двигатель. Для выравнивания этой нагрузки на эксцентриковый вал дробилки кроме шкива клиноременной передачи посажен маховик, который аккумулирует энергию при холостом ходе и отдает ее при ходе сжатия.

Щековая дробилка со сложным движением подвижной щеки (рис. 4.4) состоит из следующих основных деталей и узлов: 1 – станина (неподвижная щека); 2 – защитный кожух; 3 – эксцентриковый вал; 4 – корпус регулировочного устройства; 5 – сухарь регулировочного устройства; 6 – пружина; 7 – тяга; 8 – распорная плита; 9 – подвижная щека; 10, 11 – дробящие плиты; 12 – электродвигатель регулировочного устройства.

Защитный кожух 2 предотвращает вылет кусков породы из камеры дробления.

На неподвижную и подвижную щеки крепят дробящие плиты. Конструкция плит, износостойкость материала, из которого они изготовлены, оказывают большое влияние на технико-экономические показатели процесса дробления, а именно: производительность, удельный расход энергии, зерновой состав и форму зерен готового продукта. Стоимость дробящих плит составляет около одной трети всех расходов на дробление.

### Щековая дробилка со сложным движением щеки

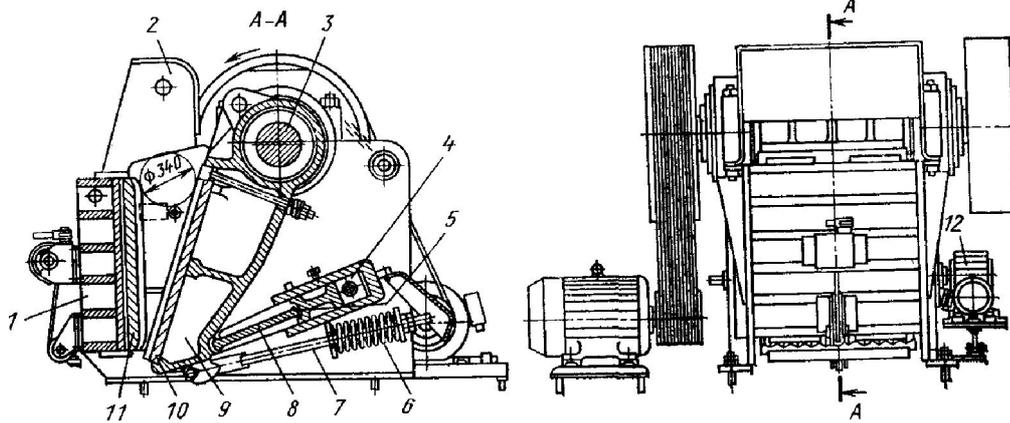
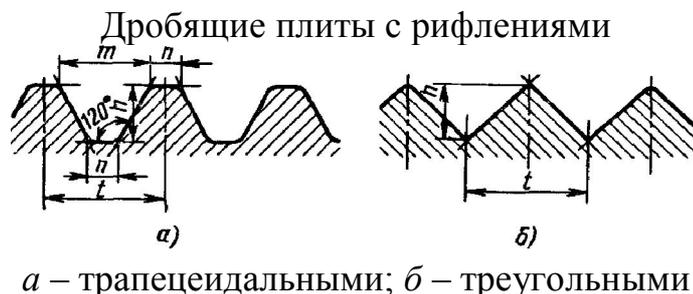


Рис. 4.4

При эксплуатации дробящие плиты щековых дробилок быстро изнашиваются, особенно у щековых дробилок со сложным движением подвижной щеки. Срок службы дробящих плит находится в прямой зависимости от вертикальной составляющей хода сжатия (при прочих равных условиях).

Наиболее интенсивно изнашивается нижняя часть неподвижной плиты, поэтому конструкцию плит выполняют в основном симметричной, т. е. с возможностью поворачивания их на  $180^\circ$  изношенной частью вверх, что удлинит срок службы плит в 2 раза. Чаще всего дробящие плиты щековых дробилок изготавливают из высокомарганцовистой стали 110Г13Л.

Щековые дробилки в зависимости от области применения должны комплектоваться дробящими плитами различной конфигурации и размером рифлений (рис. 4.5). В частности, в дробилках со сложным движением подвижной щеки рифления трапецеидальной формы (рис. 4.7, а) применяют для предварительного дробления, рифления треугольной формы (рис. 4.7, б) для окончательного дробления. В крупных дробилках с простым движением подвижной щеки применяют рифления треугольной формы (рис. 4.7, б).



а – трапецеидальными; б – треугольными

Рис. 4.5

Шаг  $t$  и высоту  $h$  рифлений для обоих профилей в зависимости от размера разгрузочной щели  $b$  рекомендуется определять по выражению  $t = 2h = b$ .

Максимально возможная крупность кусков, загружаемых в дробилку  $D_{\max}$ , принимается равной 85% от ширины приемного отверстия  $B$ , т. е.  $D_{\max} = 0,85B$ .

Важным параметром щековой дробилки является размер разгрузочной щели  $b$  (рис. 4.2), определяемый как наименьшее расстояние между дробящими плитами в

камере дробления в момент максимального отхода подвижной щеки. Размер выходной щели – параметр переменный, его можно регулировать при помощи пружины, тяги и гайки регулировочного устройства, что позволяет изменять крупность готового продукта или наоборот поддерживать постоянной в течение длительного времени независимо от степени износа дробящих плит.

Ширина выходной щели при прочих равных условиях определяет крупность продукта дробления, а также производительность дробилки. Так как по мере изнашивания дробящих плит ширина выходной щели возрастает, ее необходимо регулировать (поджимать).

На дробилках с простым движением при малой вертикальной составляющей хода сжатия срок работы дробящих плит в несколько раз больше срока работы дробящих плит дробилок со сложным движением.

Недостатком дробилок с простым движением является малый ход сжатия в верхней части камеры дробления. В верхнюю часть камеры дробления попадают крупные куски материала, для надежного захвата и дробления которых необходим больший ход, чем в нижней части, где дробятся куски меньших размеров и формируется готовый продукт. Поэтому в нижней части камеры дробления ход сжатия должен быть меньше, чем в верхней.

Дробилка со сложным движением проще по конструкции, компактнее и менее металлоемка, однако требует более частой замены дробящих плит.

#### *4.6. Конусные дробилки*

Предназначены для крупного, среднего и мелкого дробления горных пород прочных и средней прочности. В них материал разрушается в камере дробления, образованной двумя коническими поверхностями, из которых одна (внешняя) неподвижная, а другая (внутренняя) подвижная.

В зависимости от назначения разделяют конусные дробилки для крупного (ККД), среднего (КСД) и мелкого (КМД) дробления.

В дробилках ККД можно дробить куски материала размером 400-1200 мм, размер выходной щели 75-300 мм, производительность 150-2600 м<sup>3</sup>/ч.

В дробилках КСД можно дробить куски материала размером 75-300 мм; размер выходной щели 10-90 мм, производительность 19-580 м<sup>3</sup>/ч.

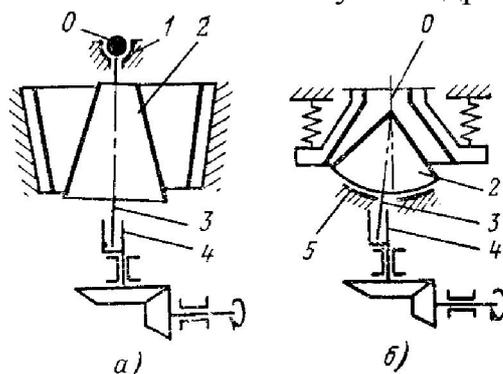
В дробилках КМД можно дробить куски материала размером 40-110 мм, размер выходной щели 3-20 мм, производительность 24-180 м<sup>3</sup>/ч.

Кинематическая схема дробилки ККД показана на рис. 4.6, а, а дробилок КСД и КМД – на рис. 4.6, б.

Устройство конусных дробилок следующее. Подвижный конус 2 жестко закреплен на валу 3, нижний конец которого вставлен в эксцентриковую втулку 4. Ось вала образует с осью вращения втулки (осью дробилки) некоторый угол, называемый углом гирации. У дробилок ККД вал подвижного конуса шарнирно закреплен сверху на траверсе 1.

Подвижный конус дробилок КСД и КМД опирается на сферический подпятник 5. Вал конуса не имеет верхнего крепления и поэтому эти дробилки называются конусными дробилками с консольным валом. Эксцентриковая втулка получает вращение от приводного устройства, при этом подвижный конус получает качательное (гирационное) движение.

## Кинематические схемы конусных дробилок



*a* – крупного дробления; *б* – среднего и мелкого дробления

Рис. 4.6

У дробилок ККД центр качания  $O$  находится в верхней части в точке подвеса, у дробилок с консольным валом он также находится в верхней части в точке пересечения осей вала и дробилки.

При работе дробилки ось вала описывает коническую поверхность с вершиной в точке  $O$ , при этом рабочая поверхность подвижного конуса поочередно приближается к неподвижному конусу, а затем удаляется от него, благодаря чему осуществляется непрерывное дробление материала за счет раздавливания и истирания. Таким образом, конусная дробилка работает так же, как щековая. Отличие состоит в том, что дробление в конусной дробилке происходит непрерывно, т. е. в любой момент времени происходит сближение какого-либо участка поверхности подвижного конуса с неподвижным и дробление материала в этом месте, в то время как на диаметрально противоположной стороне подвижный конус отходит от неподвижного.

В дробилках КСД и КМД максимальное усилие сжатия материала в камере дробления зависит от упругой силы амортизационных пружин, выполняющих функцию предохранительного устройства. Т. е. если усилия дробления превышают расчетные, например, при попадании в рабочую камеру недробимых предметов, то пружины дополнительно сжимаются, неподвижный конус приподнимается, выходная щель увеличивается и недробимый предмет выходит из дробилки.

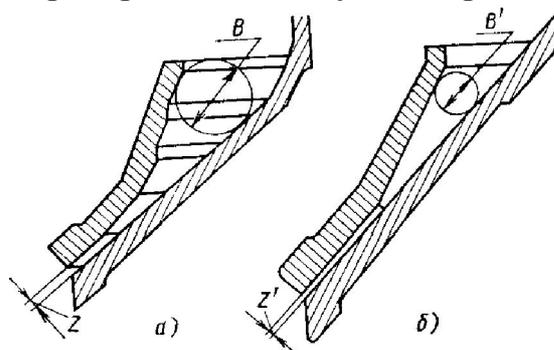
По принципу действия и конструкции дробилки КМД аналогичны дробилкам КСД и различаются лишь формой камеры дробления, т. е. профилями дробящих конусов (рис. 4.7 *a, б*).

Камеры дробления дробилок КМД (рис. 4.7, *б*) принимают меньшие по размеру куски и при одинаковом размере выходной щели выдают более мелкий продукт, чем камеры дробления дробилок КСД (рис. 4.7, *a*). Это достигается особой формой камеры с более длинной параллельной зоной, при движении по которой материал, подвергается неоднократному сжатию до размера выходной щели  $z'$ .

В конусных дробилках в качестве амортизирующих устройств могут использоваться гидравлические и гидропневматические системы, которые одновременно регулируют размер выходной щели.

Регулирование размера выходной щели обычных конусных дробилок является трудоемкой и длительной операцией.

## Камеры дробления конусных дробилок



*a* – для среднего дробления; *б* – для мелкого дробления

Рис. 4.7

В дробилках КСД и КМД щель необходимо часто регулировать для компенсации износа конусов и поддержания постоянной крупности готового продукта. В связи с этим устройства для регулирования щели в конусных дробилках должны обеспечивать минимальную трудоемкость процесса регулирования, безопасность и простоту в эксплуатации, возможность дистанционного и автоматического управления.

### 4.7. Валковые дробилки

Предназначены для вторичного дробления, т. е. среднего и мелкого дробления материалов средней прочности ( $\sigma_{сж} = 80 \div 150$  МПа) и мягких ( $\sigma_{сж} \leq 80$  МПа).

Валковые дробилки классифицируют по следующим признакам:

- количеству валков – с одно-, двух-, трех-, четырех-, пяти-, шести- и даже восьми валками.

- конструкции валков – с гладкими, рифлеными, ребристыми и зубчатыми валками, причем сочетание валков с разной дробящей поверхностью может быть различным (например, оба гладких валка; один имеет гладкую, другой рифленую и т. д. поверхности);

- методу установки валков – с одной парой подвижных и другой парой неподвижных подшипников, с подвижно установленными подшипниками, с двумя парами неподвижных подшипников.

В основном на предприятиях строительных материалов применяют двухвалковые дробилки с парой подвижных и парой неподвижных подшипников с гладкими или рифлеными валками для материалов средней прочности и зубчатыми валками для материалов мягких и хрупких (рис. 4.8).

Диаметр валков  $D$  обычно составляет 400-1500 мм, а длина  $L = (0,4-1,0)D$ .

Валковая дробилка работает следующим образом. Материал, подлежащий дроблению, подается сверху, затягивается в зазор между вращающимися навстречу друг другу валками и измельчается за счет раздавливания и частичного истирания. Иногда для увеличения истирания, необходимого для измельчения некоторых материалов, валкам сообщают разную скорость.

## Принципиальная схема двухвалковой дробилки

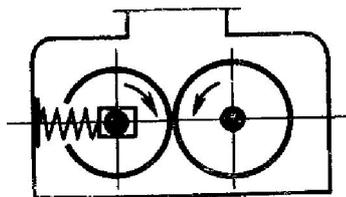


Рис. 4.8

При одинаковом диаметре рифленные и зубчатые валки могут захватывать более крупные куски материала, чем гладкие. Так, если  $D$  – диаметр валка,  $d$  – диаметр куска материала, то при дроблении пород средней прочности соотношение  $D/d$  для гладких валков составляет 17-20, а для рифленных и зубчатых 2-6. Дробящие поверхности валка изготавливаются из высокомарганцовистых сталей (110Г13Л).

Корпуса подшипников вала одного из валков опираются на пружины, за счет чего могут перемещаться в горизонтальном направлении. В результате этого при попадании недробимого предмета один валок может отойти от другого и пропустить недробимый предмет, после чего под действием пружин возвратиться в исходное положение.

Дробление в валковой дробилке осуществляется следующими способами:

- раздавливанием (при одинаковой скорости валков);
- раздавливанием и истиранием (при разной скорости валков);
- раздавливанием, истиранием, раскалыванием и частичным ударом, что зависит от конструкции валков и их скоростей.

В промышленности строительных материалов для переработки глиняной массы и удаления из нее камней используются дезинтеграторные (камневыделительные) вальцы (рис. 4.9). Они состоят из двух валков, из которых валок 1 большего диаметра имеет гладкую поверхность, а на рабочей поверхности валка 3 меньшего диаметра предусмотрены ребра высотой 8-10 мм. Ребристый и гладкий валок вращаются соответственно с частотой вращения 500-600 и 50-60 об/мин.

Исходный материал загружается в воронку 2 и попадает на быстроходный валок. Комок глины, ударяясь о ребро валка, деформируется, теряет скорость и затягивается в зазор между валками. Твердые включения, например камни, будут отбрасываться ребрами валка и попадать в отводный лоток. Таким образом, в дезинтеграторных вальцах измельчение глины сочетается с ее очисткой от твердых примесей.

## Схема дезинтеграторных вальцов

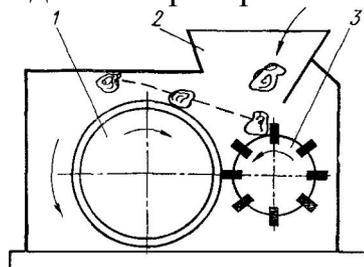


Рис. 4.9

Для переработки глиняной массы также используются дырчатые вальцы (рис. 4.10). Они состоят из тихоходного 5 и быстроходного 6 валков, каждый из которых приводится во вращение от отдельного электродвигателя 1 через редуктор 2 для быстроходного валка и через редуктор 2 и зубчатую пару 3 для тихоходного валка. Тихоходный валок опирается на предохранительные пружины 4 и при попадании в исходный материал недробимых предметов может отходить от быстроходного валка, пропуская этот предмет.

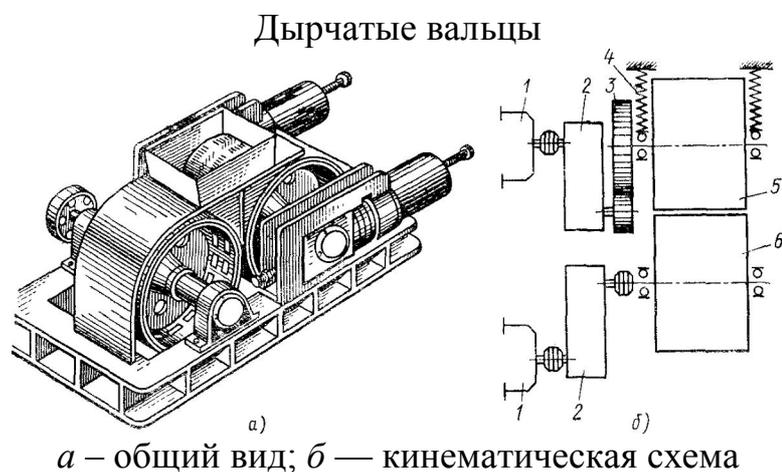


Рис. 4.10

Поверхности валков дырчатые. Исходная масса подается в приемную воронку и затягивается между двумя валками, благодаря чему разминается, растирается (за счет разной скорости валков), продавливается через отверстия во внутреннюю полость валков и затем попадает на отводящий конвейер. При этом твердые включения, имеющиеся в глиняной массе, дробятся, так как сила предварительного сжатия пружин тихоходного валка рассчитана на такие усилия.

В валковых дробилках в основном изнашивается средняя часть рабочей поверхности валков, в результате чего крупность дробленого продукта получается неравномерной. Поэтому на некоторых дробилках предусмотрены устройства, равномерно распределяющие по длине валков исходный материал, а также приспособления для проточки поверхности валков во время ремонтов.

Степень дробления  $i$  в двухвалковой дробилке составляет:

– в дробилке с гладкими валками  $i = 4-6$  для твердых пород и  $i = 6-12$  для влажных глин и мягких пород;

– для дробилки с зубчатыми валками  $i = 6-8$ .

Производительность валковых дробилок может составлять от 3 до 700 т/ч.

Достоинства валковых дробилок:

– удобны для измельчения влажных и вязких материалов (глина), т. к. позволяют устанавливать скребки для снятия с валков налипшего материала;

– позволяют предусматривать устройства для равномерного распределения материала на валках (для исключения неравномерного износа поверхностей), а также приспособления для проточки поверхности валков.

Недостатки – менее эффективны, чем щековые и конусные дробилки при дроблении твердых материалов.

#### 4.8. Дробилки ударного действия

Предназначены для крупного, среднего и мелкого дробления в основном малоабразивных материалов прочных и средней прочности ( $\sigma_{см} < 200$  МПа).

По конструктивному исполнению основного узла машины – ротора дробилки ударного действия разделяют на роторные и молотковые.

Роторные дробилки имеют массивный ротор, на котором жестко закреплены сменные била из износостойкой стали. Дробилки с таким ротором можно применять для дробления крупных кусков сравнительно прочных материалов, т.е. для первичного дробления, а также на последующих стадиях. Дробимый материал получает удары от всей массы ротора и именно это определяет особенности и название дробилки.

В молотковых дробилках дробление осуществляется за счет удара молотков, шарнирно закрепленных на роторе. Особенности этих машин определяются конструкцией молотков и поэтому они названы молотковыми.

Принцип работы дробилок ударного действия следующий.

Материал, подлежащий дроблению, загружается в дробилку сверху. Под действием силы тяжести он падает или скользит по лотку и попадает под действие бил или молотков быстро вращающегося ротора. В результате удара билом или молотком кусок разрушается, его осколки разлетаются широким сектором и ударяются о футеровку, благодаря чему дополнительно измельчаются и, отлетая, снова попадают под действие ударных элементов ротора. Это повторяется многократно, пока куски материала, достигнув определенной крупности, не выйдут через разгрузочную щель или отверстия колосниковой решетки.

Нижние концы отражательных плит с помощью тяг с пружинами можно отводить или приближать к билам ротора, регулируя зазор, а, следовательно, степень дробления и зерновой состав готового продукта. Регулирующий механизм одновременно выполняет роль предохранительного устройства. При попадании недробимых предметов пружины амортизируют, и концы отражательных плит отходят от ротора, пропуская недробимый предмет.

В некоторых случаях кусок материала, получив эксцентричный удар, начинает вращаться вокруг своего центра масс со скоростью, близкой к скорости рабочего органа дробилки (примерно 30 м/с), и впоследствии разрушается, так как от действия центробежных сил в куске материала возникает напряжение  $\sigma_p = 10$  МПа, превышающее предел прочности при растяжении для многих горных пород.

Таким образом, в дробилках ударного действия материал измельчается в результате удара бил или молотков, соударения кусков один о другой, удара о футеровку камеры дробления, а также под действием центробежных сил.

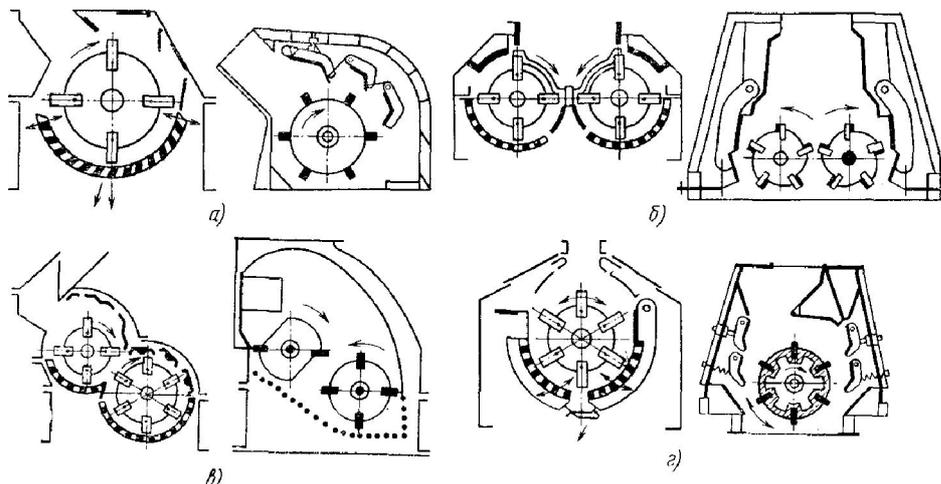
Разнообразие дробилок ударного действия обусловлено их назначением. Наиболее распространенными являются однороторные дробилки (рис. 4.11, а).

Двухроторные дробилки одноступенчатого дробления (рис. 4.11, б) используют при необходимости получения большой производительности. Оба ротора дробилки работают самостоятельно, а исходный материал поступает равномерно на оба ротора.

Двухроторные дробилки двухступенчатого дробления (рис. 4.11, *в*) используют, когда необходимо совместить две стадии дробления. В этих дробилках дробимый материал поступает сначала на первый ротор, а затем на второй.

Для лучшего использования рабочей поверхности бил и молотков применяют реверсивные дробилки (рис. 4.11, *г*). Эти дробилки имеют симметричную камеру дробления и могут работать при различных направлениях вращения ротора, что позволяет использовать била и молотки с двух сторон без изменения их положения.

Схемы роторных и молотковых дробилок



*а* – однороторные; *б* – двухроторные одноступенчатого дробления; *в* – двухроторные двухступенчатого дробления; *г* – однороторные реверсивные

Рис. 4.11

Для эффективного разрушения дробимого материала скорость ротора должна составлять 20÷80 м/с (в зависимости от физико-механических характеристик измельчаемого материала). При таких скоростях возникают большие ударные нагрузки и нагрузки от центробежных сил, поэтому конструкция ротора, сменных бил или молотков, а также их креплений должна обеспечивать надежную работу ротора и удобство его обслуживания.

В СНГ дробилки выпускаются двух типов:

- крупного дробления (ДРК), рассчитанные на прием кусков размером 0,3-0,6 диаметра ротора;
- среднего и мелкого дробления (ДРС), среднего дробления – для кусков размером 0,1-0,3 диаметра ротора и мелкого дробления – для кусков размером до 0,1 диаметра ротора.

Главными параметрами дробилок являются диаметр и длина ротора, которые входят в их условное обозначение. Например, ДРК 20×16, где  $D = 2000$  мм,  $L = 1600$  мм. У ДРК  $D / L > 1$ , у ДРС  $D = L$ .

Конструкции ДРК и ДРС принципиально не отличаются. Камера дробления у ДРК образуется ротором и двумя отражательными плитами, у ДРС – ротором и тремя отражательными плитами.

Роторы дробилок ДРС имеют большее число бил, чем дробилки ДРК. При этом у ДРС меньшая глубина проникновения куска дробимого материала в рабочую

зону ротора, чем у ДРК. За счет этого от него отбиваются меньшие куски, а удар получается менее эффективным.

Корпус дробилки выполняется в основном из углеродистой стали 35Л, вал ротора – из сталей 45 или 40Х.

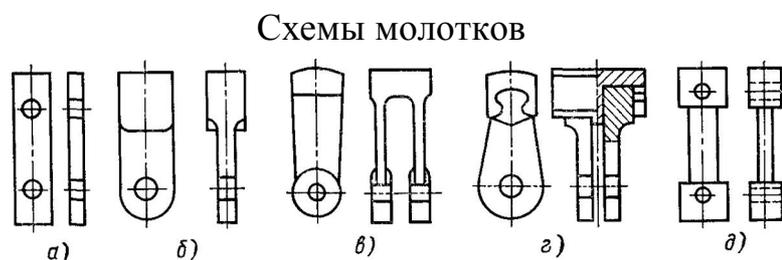
Маркировка типовых однороторных молотковых дробилок согласно ГОСТ 7090 содержит данные о диаметре  $D$  и длине ротора в мм, величина которых уменьшена в 100 раз. Например, М20-30 означает, что диаметр ротора  $D = 2000$  мм, а длина  $L = 3000$  мм.

В дробилках больших размеров отбойная плита покрыта футеровкой из стали 110Г13Л и верхней частью шарнирно закреплена к корпусу. Нижняя часть может перемещаться относительно ротора с помощью регулировочного устройства, благодаря которому изменяется зазор между окружностью вращения молотков и нижним концом плиты.

Колосниковая решетка дробилок выполняется из стали 110Г13Л. Отверстия колосниковой решетки выполняются расширяющимися к низу под углом 10-20°.

Ротор дробилки состоит из отдельных дисков, закрепленных на валу, между которыми на осях шарнирно подвешены молотки. На крупных дробилках они могут подвешиваться в шахматном порядке. Число рядов молотов может быть 3-8, чаще всего 4-6. Количество молотов может достигать у крупных дробилок до 100. Масса молотов в зависимости от типоразмера дробилки 4-70 кг.

Била и молотки молотковых дробилок (рис. 4.12) должны быть износостойкими, легко заменяемыми, способными выдерживать большие ударные нагрузки и нагрузки от центробежных сил. Кроме того, используемый для их изготовления металл, должен максимально использоваться.



а, д – с четырьмя рабочими поверхностями; б-г – с двумя рабочими поверхностями

Рис. 4.12

Молотки для молотковых дробилок изготавливают из стали 110Г13Л, что значительно повышает их износостойкость, но иногда усложняет конструкцию их крепления к ротору из-за трудности механической обработки этой стали.

При разработке конструкции бил и молотков принимается во внимание возможность их многократного использования путем перестановок, переворачивания и т. п.

Молотки, как правило, имеют несколько рабочих поверхностей, что удлиняет срок их службы. На рис. 4.12 б, в, г показаны конструкции молотков, позволяющие переворачивать их один раз после износа одной рабочей поверхности. Молотки, изображенные на рис. 4.12, а, д, имеют четыре рабочие поверхности.

Одним из способов повышения износостойкости рабочих органов дробилок является покрытие их поверхности износостойкими сплавами. В этом случае рабочие органы изготавливают из углеродистой стали, легко поддающейся механической обработке, а на их рабочие поверхности наплавляют слой износостойкого металла. Благодаря наплавке можно поддерживать рабочую поверхность била или молотка заданных размеров и тем самым сохранять его работоспособность.

Достоинства дробилок ударного действия:

– высокая степень дробления (до 50), что позволяет сократить число стадий дробления;

– высокая удельная производительность (на единицу массы машины);

– простота конструкции и удобство обслуживания;

– избирательность дробления.

Недостатки дробилок ударного действия:

– повышенный износ рабочих органов при дроблении высокообразивных материалов;

– неравномерность зернового состава конечного продукта, высокий выход мелких фракций (0-5 мм) у роторных дробилок;

– замазывание колосниковых решеток (у молотковых дробилок) при дроблении материалов влажностью более 15%.

#### *4.9. Бегуны*

Бегуны применяют для мелкого дробления и грубого помола материалов. Широко используются в производстве керамики и огнеупоров, а также в производстве асбоцементных изделий на первой стадии распушки асбеста.

Бегуны классифицируют по следующим признакам.

По конструкции:

– с неподвижной чашей, по которой катятся катки, вращаясь вокруг своей оси;

– с подвижной чашей, в которой катки увлекаемые трением, вращаются только вокруг своей оси

– с нижним приводом;

– с верхним приводом;

– с дополнительным прижимом катков.

По технологическому назначению:

– для мокрого измельчения материалов влажностью 15-18%;

– для сухого или полусухого измельчения материалов влажностью не выше 10-12%;

– смесительные бегуны для перемешивания, уплотнения и измельчения различных компонентов смеси влажностью 10-12%

По способу действия: непрерывного и периодического действия.

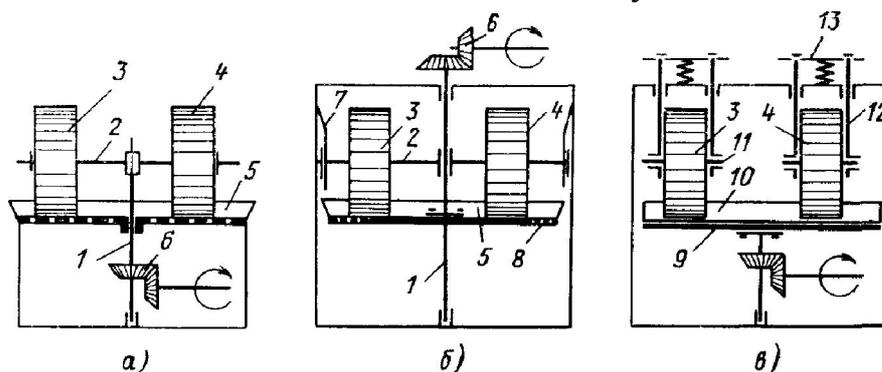
По сравнению с другими машинами для измельчения материала, например, валковыми дробилками, бегуны менее эффективны. Применение их вызвано специальными технологическими требованиями, когда наряду с измельчением необходимо обеспечить уплотнение, растирание, обезвоздушивание массы (например, при переработке глины).

Бегуны представляют собой два массивных катка, которые, перемещаясь по какой-либо поверхности, раздавливают (измельчают) своей массой находящиеся на этой поверхности куски материала.

Различают следующие типы бегунов: с неподвижной чашей (рис. 4.13, *а*); с вращающейся чашей (рис. 4.139, *б*); с вращающейся чашей и подвешенными катками (рис. 4.13, *в*)

Бегуны с неподвижной чашей и нижним приводом (рис. 4.13, *а*) применяют для мокрого измельчения глин влажностью более 15%. Размер катков (диаметр×ширина) таких бегунов от 1200×300 мм до 1800×550 мм, масса соответственно 2-7 т, производительность 10-28 т/ч.

#### Кинематические схемы бегунов



*а* – с неподвижной чашей; *б* – с вращающейся чашей; *в* – с вращающейся чашей и подвешенными катками

Рис. 4.13

К верхней части вертикального вала 1 шарнирно прикреплены кривошипы осей 2 катков 3 и 4. Катки при вращении вала катятся по неподвижной чаше 5, вращаясь при этом вокруг своих горизонтальных осей 2. Шарнирное крепление осей к валу при помощи коленчатого рычага обеспечивает поднятие или опускание катков в зависимости от толщины слоя материала на чаше, а также безаварийное перекатывание по твердым частицам или недробимым предметам.

Катки чаще всего находятся на разном расстоянии от вертикального вала, так как их дорожки должны перекрывать максимальную площадь чаши. Вертикальный вал получает вращение от электродвигателя и редуктора через коническую пару 6. Дно чаши бегунов состоит из отдельных плит с овальными отверстиями, размер которых выбирается в зависимости от требуемой крупности готового продукта от 6×30 мм до 12×40 мм. Чтобы отверстия не забивались, их выполняют расширяющимися вниз.

Катки бегунов измельчают, растирают глину и продавливают ее сквозь отверстия плит. К валу прикреплены кронштейны со скребками, которые очищают борта и дно чаши от налипшей глины и равномерно подают ее под катки. Глина, прошедшая через отверстия, направляется в спускной лоток.

Бегуны для сухого измельчения (рис. 4.13, *б*) имеют вращающуюся чашу и верхний привод. Размер катков у таких бегунов от 600×200 до 1800×450 мм, масса до 7 т, производительность 0,5-10 т/ч.

Катки 3, 4 бегунов расположены на горизонтальной оси 2 и вращаются на ней, увлекаемые силами трения при вращении чаши 5. Концы горизонтальной оси катков находятся в направляющих 7, по которым ось с катками может перемещаться вверх и вниз в зависимости от слоя материала на чаше или при попадании под каток недробимого предмета.

На верхней части вертикального вала 1 расположена коническая зубчатая пара 6, получающая вращение от привода. В нижней части вала 1 жестко закреплена ступица чаши. Дно чаши у центра и под катками выполнено со сплошными плитами, а по периферии чаши расположено кольцевое сито 8.

Скребокковые устройства равномерно подают поступающий сверху из загрузочной воронки материал под катки, а измельченный – на кольцевое сито. Не прошедшие сквозь отверстия сита куски материала снова подаются скребками под катки. Просеянный материал поступает на неподвижный поддон, с которого подается скребком в сборный лоток.

У бегунов рассмотренных конструкций (рис. 4.13, а, б) частота вращения вертикального вала составляет всего 0,3-0,6 об/с, что обуславливает их низкую производительность. Повышение числа оборотов вызовет увеличение центробежных сил и потребует в бегунах с неподвижной чашей более сложного крепления бандажей и ступиц бегунов к осям, а также более тщательной динамической балансировки вращающихся масс. В бегунах с вращающейся чашей измельчаемый материал будет отбрасываться к бортам чаши.

На рис. 4.13, в показана схема бегунов с частотой вращения до 0,9 об/с. Такие бегуны применяют для сухого измельчения. Они содержат вращающуюся чашу. Измельченный материал выгружается под действием центробежных сил в зазор между дном 9 и бортом 10 чаши. Ширина зазора регулируется. Частицы, размер которых больше, чем зазор, подаются скребками под катки. Производительность бегунов достигает 75 т/ч, масса катков 5-6,5 т, что способствует интенсивному измельчению материала.

Оси 11 катков 3, 4 соединены тягами 12 с поперечиной 13, которая через пружину опирается на раму. Пружина подобрана таким образом, чтобы в случае отсутствия в чаше измельчаемого материала зазор между катком и дном чаши составлял 8-10 мм. При работе машины катки поднимаются, освобождая пружину, а, следовательно, и раму от нагрузки (увеличивая нагрузку на чашу). При такой конструкции подвески катков облегчается запуск бегунов и снижаются нагрузки на оси катков.

Преимущества бегунов по сравнению с валковыми дробилками: обеспечивают специальную технологическую обработку материала – уплотнение, растирание, раздавливание, (обезвоздушивание глины).

Недостатки бегунов:

- сложность конструкции;
- низкая производительность;
- высокий удельный расход энергии.

#### *4.10. Выбор и особенности эксплуатации дробильного оборудования*

Выбор дробильных машин для измельчения горных пород осуществляется с учетом их физических свойств (прочности, абразивности и др.), начальной и

конечной крупности кусков, объема производства и его технологических особенностей.

Для первичного (крупного и среднего) дробления пород различной прочности, но невязких применяют щековые и конусные дробилки. При этом предпочтительнее применять для крупного дробления щековые дробилки с простым качанием подвижной щеки, несмотря на ряд преимуществ щековых дробилок со сложным качанием подвижной щеки. У последних быстро изнашиваются дробящие плиты, а также большой нагрузке подвергается эксцентриковый вал.

По сравнению с конусными дробилками щековые проще по конструкции, имеет меньшую высоту загрузки, но требуют устройства массивных фундаментов и применения маховиков.

Конусные дробилки предпочтительней для мелкого дробления горных пород. Они имеют высокую производительность, позволяют производить загрузку и отбор материала с любой стороны, имеют меньший удельный расход энергии, но более сложную конструкцию.

Валковые дробилки используются для мелкого дробления глинистых пород и пород средней прочности.

Для дробления крупных и мерзлых кусков глины наиболее целесообразнее применять зубчатые валковые дробилки, обеспечивающие большую степень измельчения.

Гладкие валки не могут захватить крупные куски материала и поэтому их, также как и бегуны, применяют для вторичного измельчения материалов средней прочности.

Молотковые дробилки обычно применяют для вторичного дробления пород малой и средней прочности (известняка, мергеля, угля и т. п.).

На цементных заводах обычно молотковые дробилки устанавливают после щековых для измельчения материала до крупности 10–25 мм для последующего эффективного помола в шаровых мельницах. Т. е., для более высокой степени измельчения осуществляют крупное дробление в щековой дробилке, среднее и мелкое дробление в молотковой дробилке, а тонкий помол – в шаровой мельнице.

Особенности эксплуатации.

1. Дробительное оборудование требует соблюдения условий эксплуатации, обеспечивающих требуемую крупность измельчаемого материала с учетом износа дробящих рабочих органов (плит, молотков, колосников). Проводится постоянное наблюдение и своевременное регулирование ширины разгрузочной щели, расстояния между колосниками и расстояние от футеровочных плит до края бил или молотков.

2. Необходимо проводить предварительную сортировку материала для исключения попадания в дробильные машины кусков, превышающих размеры загрузочного отверстия. Это повышает эффективность работы дробилки.

3. Необходимо соблюдать равномерность подачи и своевременный отбор достаточно измельченного материала.

4. Современное дробильное оборудование по своим санитарно-гигиеническим показателям не полностью удовлетворяет установленным требованиям и нормам по уровню шума и вредного пылевыведения.

Для уменьшения шума предусматривают следующие меры:

– устанавливают резиновые прокладки под футеровки отражательных плит;

- осуществляют шумоизоляцию корпуса дробилки путем нанесения противозвуковой мастики толщиной 5–6 мм;
- выполняют виброизоляцию корпуса дробилки от фундамента с помощью прокладок из резины толщиной 20 мм;
- осуществляют шумоизоляцию машины путем установки деревянных щитов с прослойкой резины или войлока, закрывающих ее со всех сторон, а также шумоизоляцию загрузочного узла путем нанесения противозвуковой мастики.

Для снижения выброса пыли выполняется следующий комплекс мероприятий:

- применяют герметичные укрытия машин, загрузочных устройств; для этого используют пылеотсасывающую вентиляцию (аспирацию); электроприводы аспирационного оборудования блокируются с электроприводами технологического так, чтобы запуск аспирации проходил с опережением до 3 мин.

Используют гидро- и парообеспыливание, благодаря которому с помощью распыленной воды и пароводяного тумана увлажняется материал и подавляется пылевое облако. Обычно увлажняют материал перед его поступлением в процесс: при первичном дроблении, при сортировке, перегрузке и т.д.

5. При запуске дробильных установок прежде всего включают устройства, отбирающие материал, затем приводят в движение дробилку и лишь после набора рабочим валом необходимой частоты вращения (через 1-2 мин) включают питатель для подачи материала на измельчение. Останавливают дробилку только после полного удаления из нее всего материала.

6. При посменном техническом обслуживании проверяется исправность системы смазки (проверка по манометру), не допускается перегрев подшипников, перегрузка электродвигателей (проверка по амперметру).

7. Строго соблюдаются все правила техники безопасности, предусмотренные специальными инструкциями.

## **5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОМОЛА МАТЕРИАЛОВ**

### *5.1. Тонкое измельчение и классификация машин для его осуществления*

В зависимости от конечной крупности частиц различают следующие виды помола:

- грубый, при котором размер частиц материала составляет 0,1-5 мм;
- тонкий – размер частиц 0,05-0,1 мм;
- сверхтонкий – размер частиц менее 0,05 мм.

Тонкость помола готового продукта характеризуется удельной поверхностью или остатком на сите.

Сырьевые материалы измельчаются до удельной поверхности 2500-3000 см<sup>2</sup>/г, клинкер до 2800-4500 см<sup>2</sup>/г.

Ситовой анализ тонкости (тонины) помола проводят на ситах с сеткой №02 (отверстия с размером в свету 200 мкм) и с сеткой №008 (отверстия с размером в свету 80 мкм).

Для сырьевых материалов остаток на сите №02 после помола не должен превышать 1-2% и на сите №008 не более 5-8%.

Применяемые для помола мельницы отличаются большим разнообразием конструкций и условий работы.

Основные конструкции мельниц подразделяются на механические и аэродинамические. Различают следующие типы механических мельниц:

- 1) барабанные или трубные (шаровые, стержневые, самоизмельчения);
- 2) вибрационные;
- 3) ударного действия (шахтные, молотковые, роторные, дезинтеграторные, аэробильные);
- 4) кольцевые (роликовые, шаровые);
- 5) роliko-маятниковые;
- 6) центробежные;
- 7) валковые.

К аэродинамическим мельницам относятся пневматические и струйной энергии (воздухо-, пароструйные и др.).

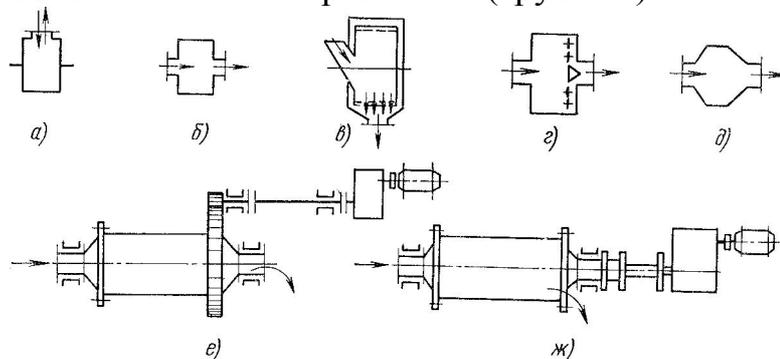
Барабанные, или трубные мельницы относятся к тихоходным. Мельницы ударного действия и центробежные к быстроходным, остальные механические мельницы к среднеходным.

### 5.2. Барабанные (трубные) мельницы, их классификация

Они получили наибольшее применение для помола в производстве цемента, силикатного кирпича и бетона (ячеистого, плотного).

Барабанными называются мельницы, у которых отношение длины к диаметру корпуса  $L/D < 3$ , а трубными, у которых  $L/D > 3$ .

#### Основные схемы барабанных (трубных) мельниц



- а – периодическое действие; б – непрерывного действия с цилиндрическим барабаном; в – с периферийной разгрузкой; г – с разгрузкой через торцовую решетку; д – с конусным барабаном; е – с периферийным приводом; ж – с центральным приводом

Рис. 5.1

Барабанные мельницы классифицируют:

- 1) по режиму работы – на периодического и непрерывного действия;
- 2) по способу помола – сухого и мокрого;
- 3) по характеру работы – с открытым и замкнутым циклом;

- 4) по форме мелющих тел – шаровые, стержневые, самоизмельчения (без мелющих тел);
- 5) по способу разгрузки – с механической и пневматической;
- 6) по конструкции загрузочного и разгрузочного устройства – с загрузкой и выгрузкой через полые цапфы или с периферийной разгрузкой;
- 7) по конструкции привода – с центральным или периферийным.

### 5.2.1. Теория барабанных мельниц

Различают три основных режима работы барабанных мельниц: каскадный, водопадный и центрифугальный (рис. 5.2). Тип режима движения мелющих тел зависит от многих факторов. Основными из них являются угловая скорость барабана и его радиус.

При невысоких значениях угловой скорости наблюдается каскадный режим работы мельницы (рис. 5.2, а), когда тела поднимаются по стенке барабана или нижерасположенному слою шаров на некоторый угол, не превышающий  $90^\circ$  от крайнего нижнего положения помольной камеры, после чего скатываются вниз по свободной поверхности загрузки. Такое перемещение мелющих тел при вращении барабана постоянно повторяется, тем самым, вызывая ассоциации каскадного движения. При каскадном режиме измельчение материала осуществляется за счет истирания.

Водопадный режим (рис. 5.2, б) наблюдается при более высоких скоростях и характеризуется подъемом мелющих тел на угол от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ , после чего происходит их отрыв от стенки барабана или слоя шаров и падение по криволинейной траектории. Такое движение помольных тел напоминает водопад, что и обусловило название режима работы мельницы. При водопадном режиме измельчение материала осуществляется за счет удара и частично истирания.

Режим, при котором мелющие тела под действием центробежной силы прижимаются к стенке помольной камеры или вышерасположенному слою шаров и при этом наблюдается их безотрывное движение на протяжении полного оборота барабана, получил название центрифугального (рис. 5.2, в) из-за наличия ассоциаций с работой центрифуг. Режим является нерабочим и измельчение материала в нем не осуществляется.

Режимы движения загрузки в шаровых мельницах

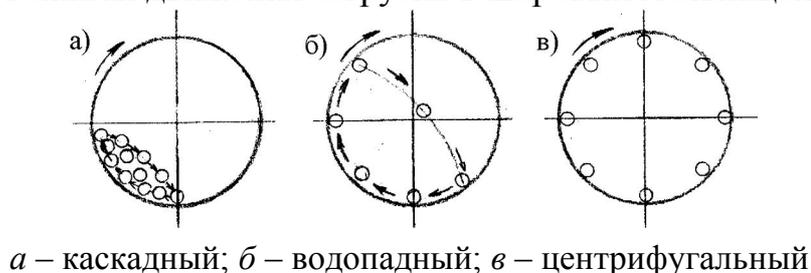


Рис. 5.2

В барабанных мельницах мелющая загрузка состоит из множества одиночных помольных тел, размещающихся слоями. Причем на каждый слой шаров

будет действовать центробежная сила, величина которой зависит от его расположения относительно центра барабана. Таким образом, при вращении барабана в помольной загрузке может одновременно наблюдаться каскадное, водопадное и центрифугальное движение мелющих тел. Скорости, разделяющие режимы между собой, называются критическими или граничными. Для каждого слоя шаров существуют свои значения критических угловых скоростей. Поэтому принято определять режим работы мельницы по характеру движения слоя шаров, контактирующего со стенкой барабана.

Частота вращения мельницы при оптимальном угле отрыва шаров ( $\alpha = 54^{\circ}40'$ ), соответствующем максимальной высоте падения шаров, называется оптимальной (рабочей) частотой или оптимальным (рабочим) числом оборотов:

$$n_p = \frac{0,379}{\sqrt{R}}, \text{ об/с.}$$

Частота вращения мельницы при критической скорости, соответствующей границе между водопадным и центрифугальным режимами, определяется по формуле:

$$n_{KP} = \frac{0,5}{\sqrt{R}}, \text{ об/с.}$$

Отношение  $n_p / n_{KP} = \psi$  называется относительной частотой вращения барабана или коэффициентом запаса равным 0,75-0,8 для степени загрузки  $\varphi = 0,3$ . По мере уменьшения  $\varphi$  или коэффициента трения шаров о внутреннюю поверхность барабана величина  $\psi$  будет возрастать.

Указанное рабочее число оборотов справедливо для мельниц сухого помола (без учета влияния скольжения мелющих тел по поверхности барабана на рабочую частоту вращения мельницы). В мельницах мокрого помола рабочее число оборотов обычно принимается на 10% больше.

### *Схемы работы барабанных (шаровых) мельниц*

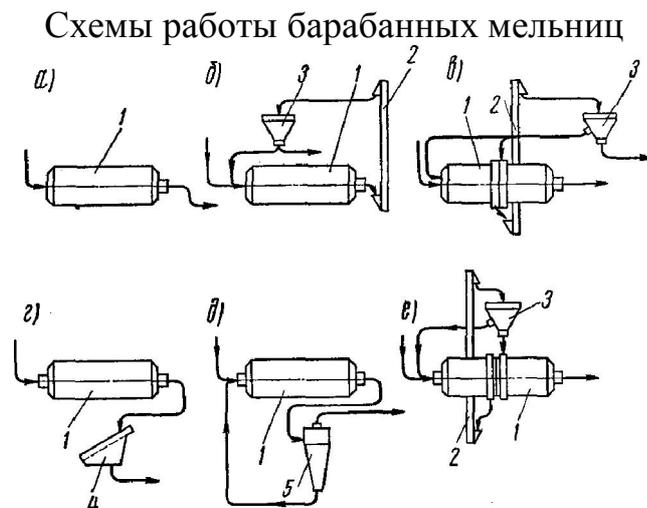
Схема работы помольной установки сильно влияет на производительность, удельный расход энергии, однородность готового продукта и эксплуатационные затраты.

При работе мельницы по открытому циклу (рис. 5.3, а) весь измельчаемый материал пропускается через барабан один раз. У этих мельниц отсутствуют дополнительные устройства, обеспечивающие промежуточный отбор готового продукта. Это снижает эффективность помола, поскольку готовый продукт, не удаленный своевременно из мельницы, затрудняет измельчение частиц неразмолотого материала. Все это снижает производительность мельницы и увеличивает удельный расход энергии на помол. Одновременно наблюдается повышение неоднородности готового продукта, в котором часть материала переизмельчается, а другая недоразмалывается, будучи окружена мелкой пылью.

Установки, работающие по открытому циклу, просты по конструкции и менее сложны в эксплуатации по сравнению с мельницами, работающими по замкнутому циклу.

При замкнутом цикле помола материал выходит из мельницы частично недоизмельченным и затем при помощи сепаратора (рис. 5.3, б, в) или грохота

(рис. 5.3, з) при сухом способе помола, а также гидроциклона (рис. 5.3, д) при мокром помоле разделяется на готовый продукт и крупку, которая вновь направляется в мельницу на домол.



1 – барабан мельницы; 2 – элеватор; 3 – сепаратор; 4 – сито; 5 – гидроциклон

Рис. 5.3

При работе мельницы по схеме, показанной на рис. 5.3, б, измельчаемый материал подается в барабан 1, продвигается в процессе помола вдоль него по направлению к разгрузочному концу, выпадает из него и элеватором 2 подается в сепаратор 3, где происходит разделение материала на готовый продукт и крупку, которая вновь направляется в мельницу для последующего совместного помола с новой порцией материала. Готовый продукт транспортируется в силосы.

При работе мельницы по схеме, приведенной на рис. 5.3, в, измельчаемый материал отводится из средней части мельницы через специальные отверстия в межкамерной секции барабана и с помощью элеватора направляется в сепаратор, откуда готовый продукт направляется в силосы, а крупка загружается в мельницу, в среднюю ее часть или частично в загрузочную часть.

На рис. 5.3, з показана мельница мокрого помола, работающая с грохотом 4, а на рис. 5.3, д – с гидроциклоном 5. В обоих случаях крупка после отделения от готового продукта направляется в загрузочную часть мельницы. На рис. 5.3, е показана схема мельниц, работавших в открытом цикле, но переоборудованных для работы в замкнутом цикле.

В процессе измельчения по замкнутому циклу материал совершает от 3 до 6 проходов через мельницу.

Непрерывное выделение из измельчаемого материала готового продукта ускоряет процесс измельчения, повышая при этом производительность мельницы на 15-20% (при сухом способе помола).

#### *Загрузка мельниц шарами, материалом, циркуляция загрузки*

Эффективность работы мельницы зависит от степени заполнения барабана мелющими телами, оцениваемой коэффициентом загрузки.

Коэффициент загрузки  $K_3$  – это отношение площади поперечного сечения слоя загрузки шарами  $S_3$  к площади поперечного сечения барабана  $S_B$ .

$$K_3 = \frac{S_3}{S_B}.$$

При малом количестве мелющих тел эффективный помол невозможен, т. к. шары, не имея достаточного подпора, будут скатываться и не поднимутся на достаточную высоту, даже при скоростях в несколько раз превосходящих критическую. При чрезмерной загрузке барабана шары также не будут эффективно измельчать материал. Длина дуги полета их после отрыва будет небольшой.

Экспериментально было установлено, что наилучшие результаты получаются при коэффициенте загрузки  $K_3 = 0,26-0,32$ . Обычно принимают  $K_3 = 0,3$ . Коэффициент заполнения объема барабана материалом следует принимать равным  $0,08-0,14$ .

За каждый оборот барабана загрузка совершает какое-то число циркуляций. Продолжительность одной циркуляции складывается из времени, затрачиваемого на движения тела по параболе, и времени, необходимого для движения по круговой части траектории.

При оптимальном рабочем числе оборотов число циркуляций загрузки составляет примерно 1,64.

Высота подъема шаров при этом составляет  $1,13R$ . Масса материала обычно составляет 14% от массы шаров.

### 5.2.2. Кинетика измельчения и размолоспособность

С увеличением степени измельчения затрачиваемая на этот процесс работа будет возрастать. При этом будет уменьшаться скорость измельчения и увеличиваться время на получения продукта необходимой дисперсности.

Для характеристики кинетики измельчения (зависимости выхода готового продукта от времени измельчения) на практике применяют коэффициент размолоспособности.

В силикатной промышленности коэффициентом размолоспособности считают отношение времени помола клинкера, принятого за эталонный материал, к времени измельчения анализируемого материала до 10% остатка на сите № 008.

Применяют и другие методы оценки размалываемости сырья. В частности, за коэффициент размолоспособности также принимают отношение удельной производительности измельчителя по исследуемому и по эталонному материалам:

$$K_3 = \frac{q_M}{q_{Э}},$$

где  $q_M$  и  $q_{Э}$  – удельная производительность измельчителя соответственно по исследуемому и эталонному материалам,  $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{с}$ .

$$q_M = \frac{m}{V \cdot t},$$

где  $m$  – масса измельчаемого материала, кг;

$V$  – объем рабочей камеры измельчителя,  $\text{м}^3$ ;

$t$  – продолжительность измельчения до требуемой крупности, с.

Кроме того, за коэффициент размолоспособности  $K_P$  принимают отношение удельного расхода энергии на измельчения эталонного материала (клинкера)  $E_{\text{Э}}$  к удельному расходу энергии на измельчение сопоставляемого с ним материала  $E_M$  при одинаковой степени измельчения:

$$K_P = \frac{E_{\text{Э}}}{E_M}.$$

Например, коэффициент размолоспособности для клинкера условно равен 1, известняка 1,2-1,8, доменного шлака 0,8-1,1, сухой глины 1,5-2.

### 5.3. Трубные мельницы

Трубные мельницы бывают одно-, двух-, трех-, четырехкамерными. Могут применяться для помола сырьевых материалов с одновременной сушкой.

Процесс измельчения материала в двухкамерной трубной мельнице (рис. 5.4) осуществляется следующим образом. Материал подается в загрузочную воронку 1 и далее через питатель 2 и полый шнек 3, расположенный в полой цапфе 4, поступает в первую камеру барабана. Измельчаемый материал постепенно продвигается к межкамерной перегородке 5 и через ее отверстия и окна 6 в стенке барабана поступает в кожух 7, откуда элеваторами подается в сепаратор.

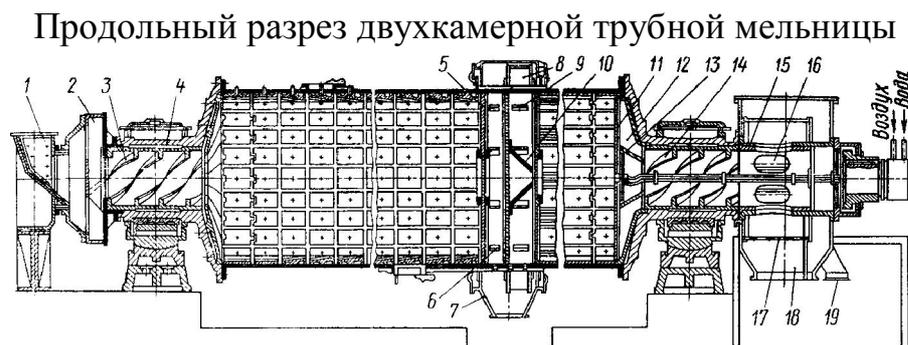


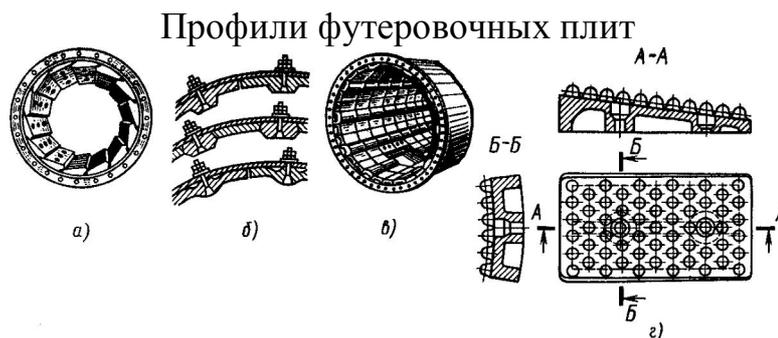
Рис. 5.4

Выделенные в сепараторе тонкие фракции пневматическими насосами подаются на склад. Недоизмельченный материал (по аэрожелобам) поступает в приемный патрубок 8 загрузочной части межкамерной секции, просыпается в барабан через окна 9 и при помощи элеваторных лопастей поднимается и сыпается на конус 10, который направляет его во вторую камеру. При необходимости часть материала может быть направлена снова в первую камеру. По мере измельчения материал выходит из мельницы через щели в торцевой решетке 11 и при помощи лопастей 12 и конуса 13 направляется в трубошnek 14. Шнек подает материал в патрубок 15, из которого он, просыпаясь через окна 16, попадает на сито 17. Раздробленные мелющие тела задерживаются на сите и затем отводятся по патрубку 19, а готовый продукт через патрубок 18 направляется на склад.

При работе мельницы в открытом цикле разгрузочные окна 6 закрываются специальными крышками и материал поступает сразу через вторую перегородку в загрузочную часть межкамерной секции и далее во вторую камеру барабана. Барабан мельницы сваривается из стальных листов (сталь 09Г2С или др.) толщиной

от 10 до 60 мм. Толщину листа принимают от 0,01 до 0,02 диаметра барабана. На торцах к барабану приварены фланцы, к которым болтами крепятся крышки. В каждой камере барабана имеется люк, перекрываемый крышкой, который служит для загрузки мелющих тел, замены футеровки, установки перегородок.

Внутренняя поверхность барабана чаще всего футерована плитами из износостойкой марганцовистой стали 110Г13Л или хромистой стали 120Г13Х2Л, 100ХГСЛ или 220Х10 со звукоизолирующей прокладкой. Первая камера обычно футеруется каблучковыми плитами (рис. 5.5, *з*), вторая – ступенчатыми (рис. 5.5, *а*) или волнистыми (рис. 5.5, *б*, *в*) плитами. В некоторых случаях применяют специальную резиновую футеровку.



*а* – ступенчатые; *б*, *в* – волнистые с болтовым и безболтовым креплением;  
*з* – каблучковые

Рис. 5.5

Футеровка обеспечивает защиту корпуса от воздействия мелющих тел и материала и оказывает большое влияние на протекание процесса измельчения. Кроме высокой износоустойчивости и механической прочности она должна отличаться надежностью и простотой крепления, легкоъемностью и заменяемостью, обеспечивать звукоизоляцию. Срок ее службы обычно 1-4 года в зависимости от условий работы мельницы. Футеровка выполняется из плит различных размеров: длиной 250-500 мм, шириной 300-400 мм, толщиной 50-110 мм и массой не более 80 кг.

#### 5.4. Мелющие тела барабанных (трубных) мельниц

В качестве мелющих тел используют стальные или чугунные шары диаметром 30, 40, 50...120 мм. В камеры грубого помола обычно загружают шары большого диаметра (больше 60 мм) массой шара от 0,9 до 8 кг, а в камеры тонкого помола – шары диаметром менее 60 мм. В камеры тонкого помола также загружают стальные или чугунные (из отбеленного чугуна) цельпесы диаметром 16-25 мм и длиной 25-40 мм.

Сортамент мелющих тел для загрузки мельницы обычно задается заводом-изготовителем мельницы для стандартного материала (клинкера).

Для помола других материалов количество каждой фракции шаров и цельпесы подбирается опытным путем.

Для этого снимают, так называемую, диаграмму помола. Она строится по результатам просеивания через сита (0,06; 0,08; 0,2 и др.) средних проб материалов, отобранных через каждый метр или 0,5 м по длине мельницы.

У хорошо работающей мельницы кривые на диаграмме помола имеют крутое падение в начале камеры и пологое – в конце камеры. Если на кривых наблюдаются длинные горизонтальные участки, то это говорит о неправильной загрузке мельницы или неправильном выборе места установки перегородки.

Кроме опытного подбора предварительный подбор загружаемых шаров ориентировочно можно осуществить по эмпирическим формулам, в частности, по формуле Левенсона:

$$d = \frac{D}{18} \div \frac{D}{24}, \text{ т.}$$

где  $d$  – диаметр шаров, мм (для меньшего коэффициента заполнения  $\phi$  принимают шары большего диаметра);

Оптимальный размер шаров можно определять и в зависимости от начального размера кусков материала, поступающего в мельницу (формула Разумова):

$$d = 28\sqrt[3]{d_H}, \text{ мм.}$$

В процессе помола происходит износ футеровки и мелющих тел. Потеря веса стальными шарами и цилебесами при измельчении клинкера составляет 0,8-1 кг/т, а футеровки – 0,1-0,15 кг/т. Для чугунных мелющих тел износ больше. В связи с этим в процессе эксплуатации через определенный промежуток времени производится догрузка мелющих тел.

#### *5.5. Техничко-экономические показатели работы трубных мельниц. Способы повышение производительности и интенсификация помола*

По сравнению с другими помольными машинами трубные (шаровые), мельницы обладают следующими достоинствами:

- простота конструкции;
- удобство в эксплуатации;
- высокая степень помола.

К недостаткам относятся:

- малые скорости воздействия мелющих тел на материал, обусловленные ограниченным числом оборотов барабана мельницы;
- участие в работе только части мелющих тел;
- использование рабочего пространства барабана всего на 35-45%;
- высокий удельный расход электроэнергии (30-40 кВт·ч/т по клинкеру);
- большой износ мелющих тел и футеровки;
- большая металлоемкость (большие габаритные размеры);
- большой шум при работе.

Удельная производительность составляет примерно 0,1 т/ч на 1 т массы мельницы. Повышение производительности мельницы и интенсификации процесса помола достигается за счет совершенствования конструкции машины, а также технологическими способами.

В первом случае:

- увеличивают их размеры (в частности их диаметр);
- применяют более мощные и совершенные сепараторы при замкнутом цикле работы;
- повышают износостойкость футеровки и мелющих тел;

– совершенствуют конструкции внутримельничных перегородок.

К технологическим способам относятся:

– снижение температуры материала и мельницы при помоле за счет применения аспирации;

– промежуточное охлаждение крупки между сепаратором и в самом сепараторе;

– подача в мельницу со стороны разгрузки распыленной воды;

– применение ПАВ (поверхностно-активных веществ).

Установка для ввода воздушно-водяной смеси в камеру тонкого помола мельницы имеет расходный бак для воды с поплавковым реле, насос, водо- и воздухопроводы. Насос подает воду в форсунку, закрепленную в решетке разгрузочного (выходного) днища мельницы. Вода распыляется сжатым воздухом. Насос включается автоматически, если температура материала превышает 120°C. Распыленная вода, кроме того, способствует удалению с мелющих тел разноименных зарядов статического электричества, агрегирующих тонкие фракции материала, интенсифицирует процесс помола и повышает производительность мельницы примерно на 9%. Образующаяся смесь водяного пара и воздуха удаляется аспирационной системой. Количество подаваемой воды составляет 0,5-1,5% от количества обрабатываемого материала. Если ее подается 2-3%, то объем аспирационного воздуха уменьшается на 25-30%. Количество подаваемой воды оптимизируется по влагосодержанию аспирационного воздуха.

Применение ПАВ снижает агрегацию тонких частиц и предотвращает их налипание на мелющие тела. Кроме того использование ПАВ повышает подвижность материала в мельнице, его аэрируемость, приводит к снижению слеживаемости и замедляет снижение активности материала при его хранении. Кроме того, применение ПАВ способствует росту производительности мельницы на 15-20%, повышает тонкость измельчения и снижает удельный расход энергии.

ПАВ вводят в тонкораспыленном виде преимущественно в первую камеру мельницы или на линию дозатора. В этом случае ПАВ работает и как понизитель прочности материала. В тоже время использование ПАВ приводит и к увеличению пыления.

### *5.6. Стержневые мельницы*

Стержневые мельницы – это барабанные мельницы, в которых в качестве мелющих тел используются стальные стержни диаметром 50-120 мм. Их длина на 100-150 мм меньше протяженности камеры. Используются как при мокром, так и при сухом помоле сырьевых материалов.

В них могут измельчаться материалы с размером кусков до 30 мм. На выходе получается продукт размером от 0,5-1,5 мм до 2-3 мм, не содержащий мелких фракций. Эти мельницы высокопроизводительны. Их диаметр достигает 4,5 м, а длиной – 6-8 м. Стержневая загрузка заполняет до 40% объема камеры. Наибольшее распространение получили однокамерные мельницы размером 4,5×6 м и производительностью до 400 т/ч.

### 5.7. Барабанные мельницы самоизмельчения

Применяют как для сухого (мельницы «Аэрофол»), так и для мокрого (мельницы «Гидрофол») помола сырьевых материалов.

Мельницы «Аэрофол» широко используют в цементной промышленности на первой стадии измельчения. В агрегате с мельницей «Аэрофол» совмещается измельчение и сушка с влажностью материала до 10-12%.

Работа мельниц без мелющих тел основана на том, что для измельчения материала применяются куски этого же материала размером до 450 мм.

Мельница «Аэрофол» (рис. 5.6) содержит барабан 1 диаметром (5-8 м), закрытый по торцам днищами 2, центральная часть которых выполнена в виде цапф 3, с помощью которых он опирается на подшипники 4. Барабан мельницы приводится во вращение от электродвигателя через редуктор и зубчатую передачу, больше колесо 5 которой смонтировано на его корпусе. С внутренней стороны барабан футерован броневыми плитами, при этом в боковых плитах имеются треугольные выступы, которые обеспечивают отбрасывание крупных кусков к центру. Барабан вращается с частотой вращения, составляющей 85-90% от критического значения. При этом материал непрерывно поднимается и падает вниз. Крупные куски сырья дробятся сами и измельчают меньшие по размерам.

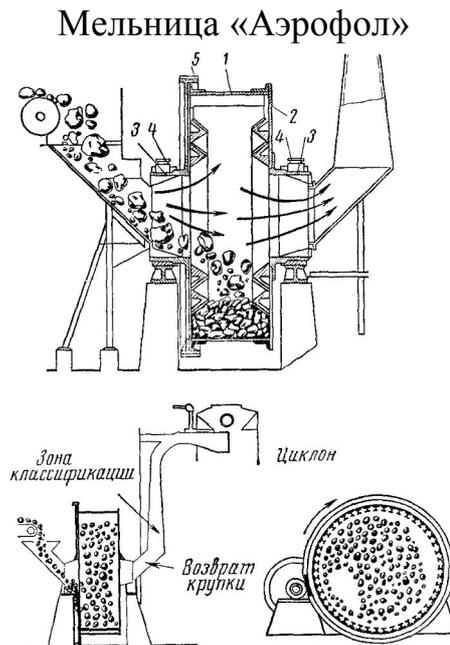


Рис. 5.6

Для ряда материалов чистое «самоизмельчение» не всегда дает желаемый результат из-за того, что в барабане накапливается большое количество кусков так называемого критического размера (12-25 мм), т. е. таких, которые сами не могут обеспечить эффективный помол и в то же время крупные куски измельчают их недостаточно интенсивно. Для предотвращения этого явления рекомендуется добавлять в барабан небольшое количество металлических шаров (примерно 2,5% от объема барабана).

В мельнице обычно измельчается материал влажностью до 3-4,5%. При применении продувки горячими газами его влажность может достигать 12%.

Мельницы самизмельчения эффективны в тех случаях, когда нежелательно наличие в готовом продукте металлических частиц, появляющихся из-за износа шаров.

Мельница «Гидрофол» (рис. 5.7) предназначена для мокрого измельчения материала и работает в замкнутом цикле с классифицирующими аппаратами. Материал в мельницу загружается при помощи питателя 1 с вибратором 2 и через пустотелую цапфу поступает в барабан 3. Куски материала специальными лифтерами, а также за счет центробежной силы инерции поднимаются при вращении барабана и затем, падая и соударяясь друг с другом и с футеровкой, разрушаются. Измельченный продукт проходит через разгрузочную цапфу в барабанный конический грохот 4.

Мельница «Гидрофол»

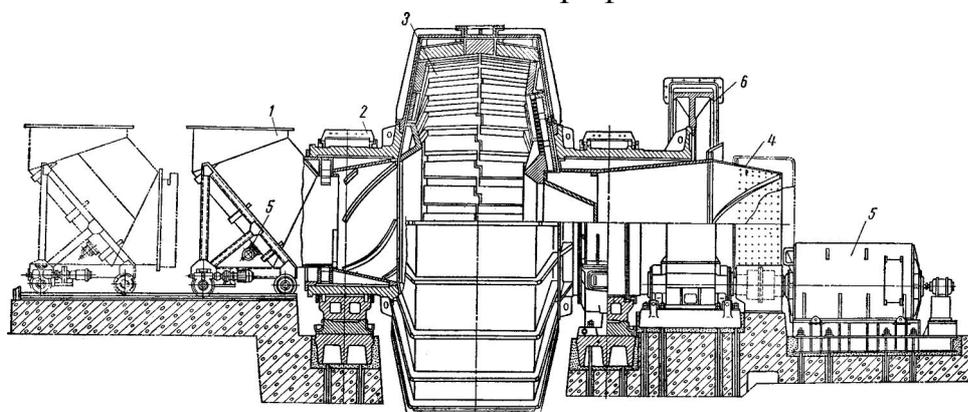


Рис. 5.7

Барабана получает вращение от электродвигателя 5 через редуктор и зубчатую передачу, венцовое колесо 6 которой смонтировано на разгрузочной цапфе.

### 5.8. Среднеходные мельницы

Среднеходные мельницы получили свое название вследствие того, что их основные рабочие органы приводятся во вращение со средней скоростью (1,67-5 об/с). Они используются для размолва материалов средней прочности за счет раздавливания и частично истирания.

Существующие типы среднеходных мельниц подразделяются на шаровые с одно- или двухрядным расположением шаров, валковые, роliko-маятниковые.

#### 5.8.1. Шаровые кольцевые мельницы (мельница Фуллера)

Шаровые среднеходные мельницы (рис. 5.8) напоминают шарикоподшипник, в котором на нижнем кольце 1 почти вплотную друг к другу укладываются металлические шары 2 диаметром 190-275 мм в зависимости от размера мельницы. Нижнее кольцо приводится во вращение от электродвигателя через редуктор 3.

Шары прижимаются к кольцу за счет веса верхнего кольца 4 и дополнительного нажима пружин 5, давление которых на шар меняется от 1,8 до 6,0 кН в зависимости от вида размалываемого материала.

При двухрядном по высоте расположении шаров приводным является среднее кольцо. Материал, подлежащий измельчению, подается питателем 6 и по точке 7 направляется на нижнее кольцо, где размалывается шарами. Измельченный материал под действием центробежных сил инерции выбрасывается за кольцо и подхватывается потоком воздуха, поступающим со скоростью 25-30 м/с через патрубок 8. Далее материал направляется в сепаратор 9, где разделяется на готовый продукт и крупку. Готовый продукт выносится вверх через патрубок 10, а крупка падает вниз и поступает на домол.

Шаровая среднеходная мельница

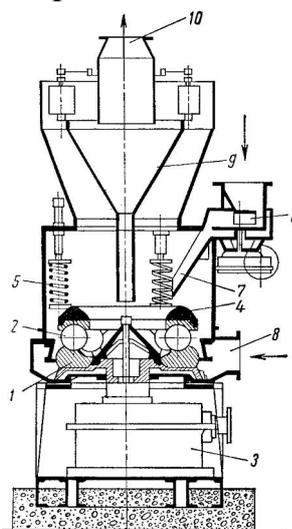


Рис. 5.8

Окружная скорость нижнего кольца подбирается с таким расчетом, чтобы под действием возникающих центробежных сил инерции из кольца не выбрасывались бы частицы, размер которых значительно превышает наибольший допустимый для готового продукта. Диаметр шара подбирается исходя из размеров кусков, поступающих на помол.

Давление пружин должно выбираться в зависимости от твердости измельчаемого материала.

Затяжку пружин, число которых у мельницы равно 3-4, необходимо производить с учетом того, что излишнее давление ведет к быстрому износу шаров и кольца, а недостаточное – к проскальзыванию шаров по размольному кольцу, разогреву шаров и кольца и быстрому выходу их из строя.

### 5.8.2. Валковые среднеходные мельницы

В валковых среднеходных мельницах (рис. 5.9) измельчение материала осуществляется раздавливанием и частично истиранием между вращающейся тарелкой 1 и валками 2. Валки смонтированы на неподвижных осях, закрепленных на рычагах 3, и прижимаются к вращающейся тарелке пружинами 4. Давление

пружин в зависимости от размера мельницы колеблется от 2,0 до 500 кН на валок. При вращении тарелки валки за счет трения приводятся во вращательное движение, при этом подаваемый на тарелку материал затягивается между ней и валками и измельчается. Обычно используется два валка. Скорость вращения тарелки около 3 м/с. Диаметр валка составляет около 0,7 от диаметра тарелки, а его ширина равна 0,2 диаметра тарелки.

Валковая среднеходная мельница

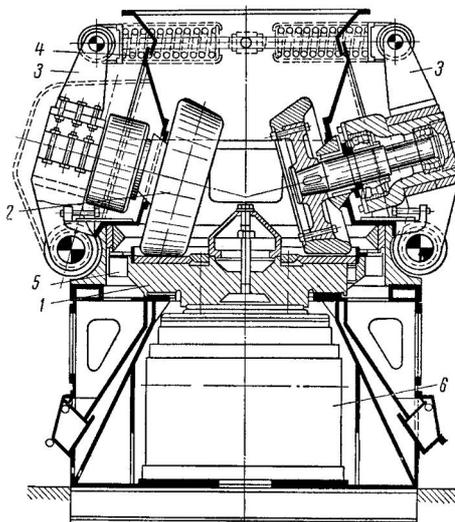


Рис. 5.9

При холостом ходе между валками и тарелкой имеется зазор примерно 1,25 мм. При рабочем ходе за счет слоя материала, лежащего на тарелке, валки (ролики) несколько приподнимаются, создавая необходимое давление на материал.

Измельченный материал подхватывается потоком воздуха или горячих газов, поступающих через кольцевой канал 5, и выносится вверх в сепаратор, монтируемый над мельницей. Осажденные в сепараторе крупные частицы материала возвращаются вновь в мельницу на домол. Тарелка приводится в движение электродвигателем через редуктор 6.

Валковые и шаровые среднеходные мельницы в сравнении с шаровыми барабанными более эффективны при размоле материалов средней и малой прочности. Например, при помоле углей удельный расход энергии в них составляет 13-18 кВт·ч на 1 т, что примерно в 2 раза ниже, чем в шаровых барабанных мельницах.

### 5.8.3. Ролико-маятниковые мельницы

Ролико-маятниковая мельница (рис. 5.10) предназначена для измельчения материалов мягких и средней прочности (глина, каолин, гипс, мел, тальк, графит).

На вращающемся вертикальном валу 1 закреплена крестовина 2, на которой шарнирно подвешиваются четыре маятника 3 с роликами 4 на нижнем конце. При вращении вертикального вала за счет центробежной силы инерции маятники расходятся, прижимаясь своими роликами к неподвижному размольному кольцу 5, измельчая при этом материал, попадающий между роликами и кольцом. Материал

подается в мельницу питателем 6. Измельченный материал потоком воздуха (газов), поступающим через кольцевой коллектор 7 в корпус мельницы, подхватывается и выносится в сепаратор, устанавливаемый над мельницей. Отвеянные в сепараторе крупные частицы материала выпадают вниз в мельницу, где и домалываются, а отвеянный продукт поступает в циклон, где осаждается и затем отводится. Воздух через циклон частично направляется обратно в мельницу, а частично проходит через рукавный фильтр, очищается и затем выбрасывается в атмосферу.

### Ролико-маятниковая мельница

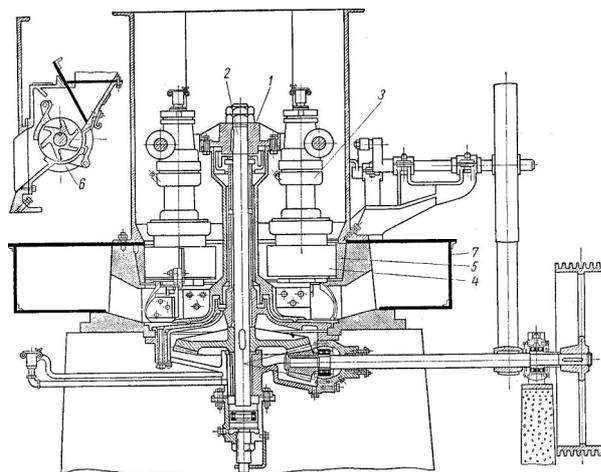


Рис. 5.10

Ролико-маятниковые мельницы изготавливаются с диаметром тарелки от 600 до 1800 мм при диаметре роликов от 300 до 700 мм. Мощность электродвигателей мельницы и вентилятора от 4,5 до 235 кВт. Вентиляционная установка потребляет от 25 до 35% от количества энергии, расходуемой мельницей.

Ролико-маятниковые мельницы могут работать как размольный, так и сушильный агрегаты. В этом случае воздух подогревается до необходимой температуры. Число оборотов вертикального вала мельницы подбирается исходя из обеспечения необходимого давления ролика на материал. Давление вала принимается с учетом того, что каждая порция материала подвергается многократному нагружению, в то время как валковые машины нагружаются один раз. В данном случае измельчение может проводиться относительно малыми импульсами, учитывая большое число воздействий.

Давление вала принимается равным 0,1-0,25 МПа (на погонный метр длины вала) в зависимости от прочности материала и размера мельницы. Меньшие величины принимаются для мельниц малых размеров при помоле мягких пород, а большие – для мельниц крупных при помоле пород средней твердости. Давление, создаваемое валком, обеспечивается за счет центробежной силы инерции, развиваемой при вращении вала с маятником вокруг оси центрального вертикального вала.

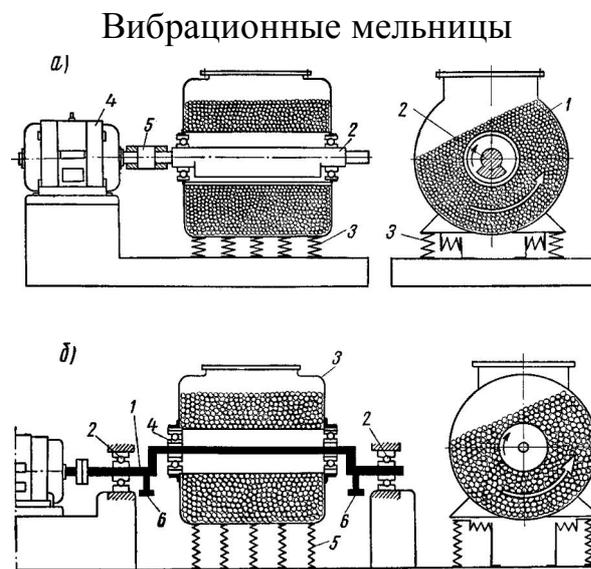
### 5.9. Мельницы для особо тонкого помола

К ним относятся вибрационные, центробежные и мельницы струйной энергии.

### 5.9.1. Вибрационные мельницы

Вибрационные мельницы применяются как для сухого, так и для мокрого размола материалов. Различают инерционные и гирационные (эксцентрикковые) вибрационные мельницы.

В инерционных мельницах (рис. 5.11, а) вибрация корпуса 1 вызывается центробежными силами инерции, возникающими при вращении дебаланса, установленного эксцентрично по отношению к оси вращения. В гирационных мельницах (рис. 5.11, б) корпус мельницы монтируется на эксцентриковом валу и при вращении последнего совершает круговые качания. Траектории, по которым движется каждая из точек корпуса инерционной мельницы, имеют форму эллипса, траектории же точек корпуса гирационной мельницы представляют окружности с радиусом, равным эксцентриситету вала.



а – инерционная; б – гирационная

Рис. 5.11

В тех случаях, когда вибрационные мельницы используются для сверхтонкого измельчения, например при получении готового продукта с частицами размером менее 1-10 мкм, эффективность их в 5-30 раз выше эффективности шаровых мельниц при значительно меньшем удельном расходе мощности.

В *вибрационной мельнице* инерционного типа (рис. 5.11, а) корпус 1 загружается шарами примерно на 80% объема, а в подшипниках качения устанавливается дебалансный вал 2. Корпус мельницы опирается на пружины 3. Вращение дебалансного вала осуществляется от электродвигателя 4, соединенного с валом при посредстве гибкой муфты 5, исключая передачу вибрации от мельницы к электродвигателю.

Наличие пружинной опоры, а также деревянных подкладок, на которых устанавливается вибрационная мельница, почти полностью исключает передачу вибрации на основание. Специального фундамента под мельницу не требуется: она может быть установлена на земляном, асфальтированном или бетонированном полу.

При вращении дебалансного вала с частотой примерно 20-50 колебаний в секунду, корпус мельницы с шарами и материалом приводится в качательное движение. Количество воздействий в единицу времени со стороны шаров на измельчаемый материал в вибрационной мельнице в сотни и даже тысячи раз больше, чем в обычной шаровой. Измельчение осуществляется небольшими по величине импульсами при большой их частоте.

В процессе работы мельницы шары и материал вращаются в сторону, противоположную направлению вращения дебалансного вала. Шаровая загрузка движется тем интенсивнее, чем больше коэффициент трения между шарами и стенкой корпуса.

Гириационная мельница (рис. 5.11, б) отличается от инерционной тем, что она имеет эксцентриковый вал 1, установленный в подшипниках качения 2. Корпус 3 мельницы монтируется на эксцентриковом валу с помощью подшипников качения 4. Вращению корпуса препятствуют пружины 5, на которые он опирается. Для уравнивания корпуса на эксцентриковом валу монтируются противовесы 6. В процессе эксплуатации мельницы из-за меняющихся условий работы весьма трудно ее отбалансировать, и это отрицательно сказывается на долговечности машины (особенно опорных подшипников), фундамента и здания, в котором установлена мельница.

### 5.9.2. Струйные мельницы (мельницы струйной энергии)

В зависимости от конструктивных особенностей различают следующие типы струйных мельниц:

- мельницы с вертикальной трубчатой камерой для сверхтонкого измельчения материалов (средний размер получаемых частиц менее 1 мкм);
- мельницы с плоской помольной камерой для сверхтонкого измельчения материалов (средний размер получаемых частиц менее 10 мкм);
- мельницы с противоточной (эжекторной) камерой для тонкого измельчения материалов (средний размер получаемых частиц менее 60 мкм).

В струйной мельнице с вертикальной трубчатой помольной камерой (рис. 5.12) частицы материала ленточным питателем 1 подаются в загрузочную воронку 2. Затем материал по питающему трубопроводу 3 поступает в зону диффузора 4. Далее материал подхватывается воздухом, поступающим по патрубку 5 и 7 и подается в зону измельчения А помольно-разделительной камеры 6.

Струйная мельница с вертикальной трубчатой помольной камерой

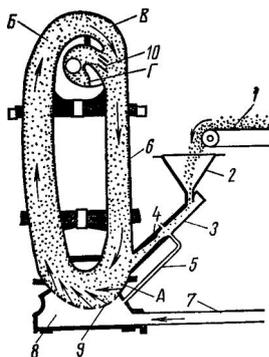


Рис. 5.12

Энергоноситель (сжатый воздух, перегретый пар или инертный газ) поступает по трубопроводу в коллектор 8 и далее через систему сопел 9 в нижнюю часть помольно-разделительной камеры. Сопла располагаются в два ряда попарно таким образом, чтобы каждая пара струй пересекалась в вертикальной плоскости на некотором удалении от противоположной стенки трубы. Кроме того, сопла повернуты в вертикальной плоскости на определенный угол, чтобы вызвать циркуляцию газа, находящегося в камере.

Измельчение происходит в результате столкновения частиц в точках пересечения струй и в вихрях, возникающих между ними. Разделение осуществляется при взаимодействии центробежных и центростремительных сил, возникающих на резких поворотах потока в коленах *Б* и *В*. При этом более крупные частицы отбрасываются к внешней стенке трубы и, спускаясь по вертикальному стволу, снова попадают в зону измельчения. Более легкие частицы, движущиеся в области, прилегающей к внутренней стороне трубы, попадают в поток энергоносителя, удаляемого из мельницы через жалюзи 10 инерционного разделителя. Принцип действия последнего заключается в том, что крупные частицы материала, обладающие относительно высокой кинетической энергией, сталкиваясь с лопатками разделителя, отражаются от них и отбрасываются в газовый поток, циркулирующий в камере. Более мелкие частицы не претерпевают существенного отражения и увлекаются потоком *Г*, уходящим из мельницы. Частицы измельчаемого материала выводятся наружу лишь при достижении определенного размера. Для улавливания готового продукта применяют циклоны и рукавные фильтры.

В струйной мельнице с плоской помольной камерой (рис. 5.13) энергоноситель поступает по трубопроводу 1 в распределительный коллектор 2, откуда через сопла 3 струи газа со скоростью звука истекают в помольно-разделительную камеру 4. Оси сопел расположены относительно соответствующих радиусов камеры под углом  $\alpha$ . Пересекающиеся друг с другом струи образуют многоугольник с центром на вертикальной оси камеры. В центральной части камеры располагается центробежный пылесадитель, образованный двумя трубами: большого диаметра 5, соединяющей помольную камеру с приемником 6 готового продукта, и малого диаметра 7, отводящей отработанный энергоноситель. Измельчаемый материал подается в помольную камеру по трубе 8.

Частицы материала, увлеченные круговым движением газа, движущегося в камере, подхватываются струями и ускоряются в них. В точках пересечения струй частицы сталкиваются друг с другом и измельчаются. Кроме того, измельчение происходит в вихрях, образующихся в полостях пониженного давления между струями и при их обтекании.

На частицы материала в камере действуют центробежная и центростремительная силы. В процессе измельчения частицы материала центробежная сила уменьшается быстрее центростремительной. При достижении определенного размера частицы величина центростремительной силы превышает центробежную и частица, увлеченная потоком газа, движется от периферии к центральной части камеры, после чего попадает в щель, образованную трубами 5 и 7. Высокие скорости потока и значительные ее тангенциальные составляющие приводят к образованию в трубе 5 мощного нисходящего вихря, осаждающего частицы измельчаемого материала. Прижатые к внутренней поверхности трубы

частицы выбрасываются вихрем в приемник 6. Около 80% измельчаемого материала попадает в этот приемник, остальные 20% уносятся отработанным энергоносителем. Из них 15-17% улавливаются вторичным центробежным пылесадителем, остальные 3-5% улавливаются при очистке отработавшего энергоносителя посредством рукавного фильтра. Таким образом, при помоле получают продукты трех различных дисперсностей.

### Струйная мельница с плоской помольной камерой

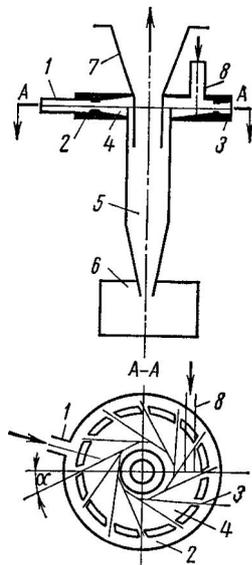


Рис. 5.13

Эжекторная струйная мельница (рис. 5.14) состоит из бункеров 1, эжекторов 2, разгонных труб 3, укрепленных в держателях 4, напорных сопел 5 с устройством для перемещения их по горизонтальной оси, корпуса 6, футерованного броневыми плитами 7, крепежных фланцев 8 и 9 и смотровых люков 10.

### Эжекторная струйная мельница

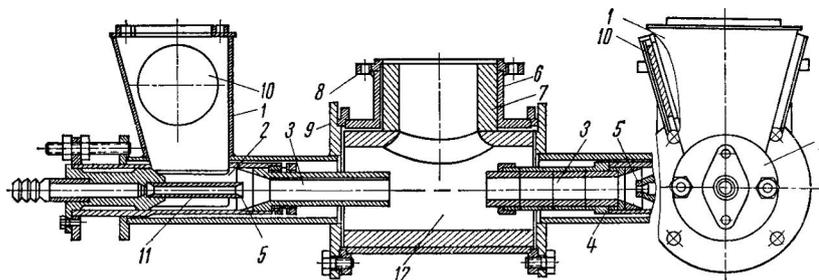


Рис. 5.14

Энергоноситель (сжатый воздух или перегретый пар с температурой до 300°C) по трубе 11 подается в цилиндрические сопла 5 под давлением 0,4-0,8 МПа, затем энергоноситель с измельченным материалом поступает сначала в разгонные трубы 3, затем в помольную камеру 12, где происходит измельчение материала за счет соударения частиц во встречных потоках. Далее измельченный материал с отработанным энергоносителем направляется в классификатор, после чего готовый

продукт поступает в пылеосадитель, а грубая фракция возвращается на повторный помол в камеру.

### 5.10. Быстроходные мельницы (мельницы ударного действия)

#### 5.10.1. Шахтные и аэробильные мельницы (мельницы ударного действия)

Шахтная мельница (рис. 5.15) представляет собой шахту 2, в нижней части которой смонтирована молотковая мельница (дробилка) 3, на молотки которой подается материал через патрубок 1.

Материал вводится в помольную камеру по направлению вращения ротора, при этом мелкие частицы материала, соответствующие по размеру готовому продукту, подхватываются потоком газов, поступающих в корпус по специальным приемным каналам 1 (рис. 5.16).

Измельчение материала в шахтной мельнице происходит за счет удара молотков о частицы материала, удара материала о броневые плиты, истирания материала молотками при протаскивании его в нижней зоне камеры и истирания материала о материал.

Схема шахтной мельницы

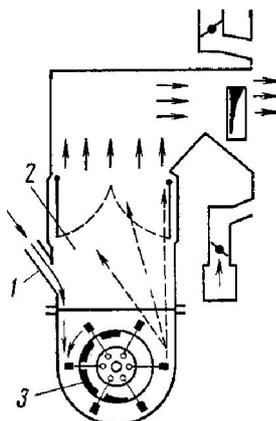


Рис. 5.15

Конструкция измельчителя шахтной мельницы

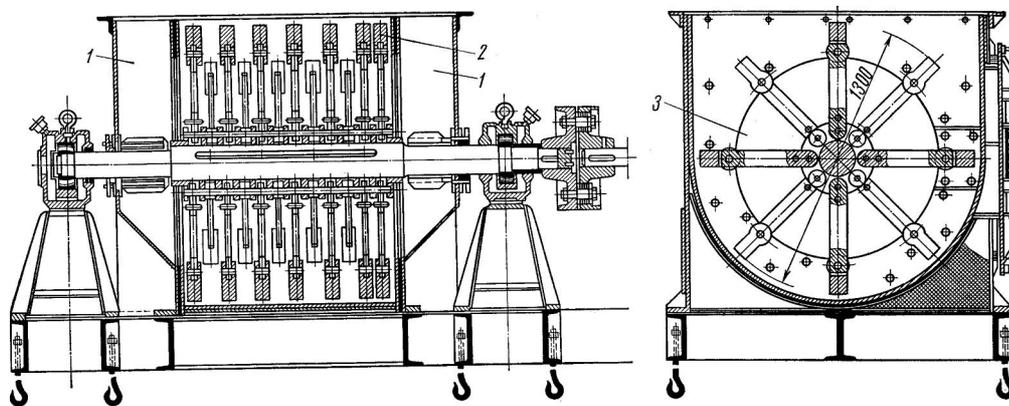


Рис. 5.16

Измельченные частицы поступают в верхнюю часть шахты. Частицы, скорость витания которых менее скорости потока, уносятся в осадительные устройства, где собирается готовый продукт. В свою очередь, частицы, для которых скорость потока недостаточна, выпадают из него и снова попадают под действие молотков ротора. Таким образом, шахта выполняет роль сепаратора. С уменьшением скорости воздуха тонкость помола повышается и, наоборот.

В шахтной мельнице кроме измельчения может осуществляться и процесс сушки материала. В этом случае в корпус мельницы вводятся горячие газы с температурой до 400°C. При вращении ротора в помольной камере создается разрежение, чем обеспечивается засос газов через приемные каналы 1.

Аэробильная молотковая мельница (рис. 5.17) состоит из следующих основных узлов и механизмов: тарельчатого питателя 1, ротора с билами 2, вентилятора 3, сепаратора 4. Ротор 2 имеет диск 5 с жестко закрепленными на нем билами 6. Подлежащий измельчению материал тарельчатым питателем равномерно подается через загрузочные рукава 7 в центральную часть мельницы (через отверстия в торцовых стенках).

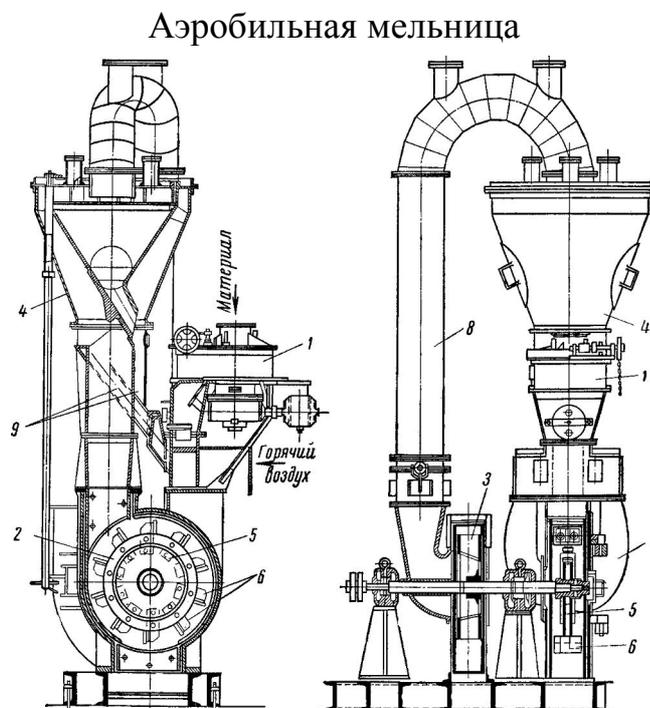


Рис. 5.17

Измельчение материала осуществляется за счет ударов частиц материала билами и о футеровку, истирания билами и друг о друга. Ротор, вращающийся с окружной скоростью до 80 м/с, выбрасывает измельченный материал в трубу над горловиной мельницы. Вентилятор 3, соединенный трубой 8 с воздушным сепаратором 4, создает в системе разрежение и вызывает тем самым интенсивный поток воздуха вверх от мельницы к воздушному сепаратору, где происходит отделение крупных частиц от мелких. При этом крупные частицы по трубе 9 возвращаются обратно в мельницу, а мелкие вместе с отработанным воздухом с помощью вентилятора 3 направляются в пылеосадительные устройства.

### 5.10.2. Дезинтеграторы

К мельницам дезинтеграторного типа относятся дезинтеграторы и дисмембраторы. Они применяются преимущественно для измельчения мягких, малоабразивных материалов.

Дезинтегратор (рис. 5.19) представляет собой два диска 5 и 6, смонтированные на приводных валах 1 и 2 с помощью ступиц 3 и 4. По окружности дисков расположены несколько рядов пальцев (цилиндрических, прямоугольных, треугольных или иной формы стержней). Концы пальцев 7 каждого ряда скреплены между собой с помощью колец 8 (или иным способом). Диски с пальцами, называемые корзинами, вращаются навстречу друг другу. Корзины заключены в стальной кожух, в верхней части (съемной) которого имеется загрузочная воронка 14. Мельница опирается на фундамент с помощью стоек 9 и 10, в которых установлены подшипники приводных валов. На стойке 10 закреплен винт 11 с маховиком 12 и гайкой 13. При вращении маховика 12 выдвигается стойка 10, а вместе с ней вал 2 с закрепленной на нем корзиной. Такое устройство позволяет легко и просто менять быстроизнашивающиеся пальцы и корзины.

Материал, подлежащий измельчению, подается через воронку 14 в центральную часть корзин. Встречаясь с первым рядом быстровращающихся пальцев внутренней корзины, куски материала разбиваются и под действием центробежной и тангенциальной сил направляются к последующим рядам пальцев, которые осуществляют их дальнейшее измельчение.

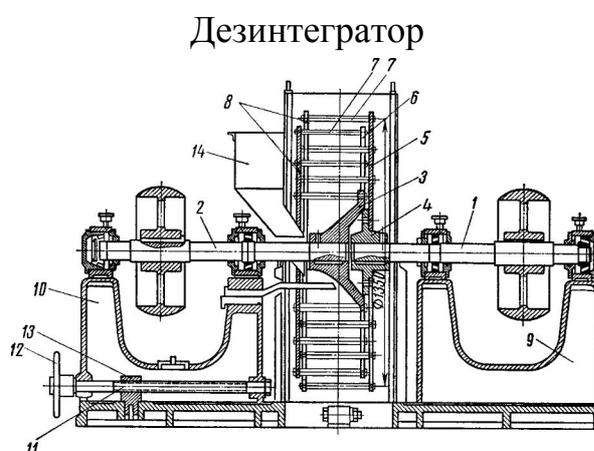


Рис. 5.19

Конструкция дисмембратора аналогична дезинтегратору. Отличительной особенностью является то, что в последнем вращаются два диска с пальцами, а в первом – лишь один. Поэтому рабочая скорость ротора в дисмембраторе должна быть в 2 раза больше, чем в дезинтеграторе.

## 6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОРТИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Сортировка материалов производится с целью:

– выделить из материала, предназначенного для измельчения, куски, величина которых превышает максимально допустимые для выбранной дробилки (мельницы);

- отделить куски, размеры которых меньше требуемых на данной стадии обработки;
- выделить из измельченного продукта частицы, размеры которых выше требуемых;
- разделить измельченный материал по крупности на несколько фракций;
- удалить из полезного ископаемого посторонние примеси, увеличивая тем самым содержание ценной части сырья;
- выделить из сырья включения, наличие которых или снижает качество продукции, или вредно отражается на работе дробилки (мельницы).

### 6.1. Способы сортировки и классификация машин

Сортировка материалов может осуществляться механическим, воздушным, гидравлическим и магнитным способами.

Механическая сортировка (грохочение) осуществляется при помощи машин, называемых грохотами и снабженных ситами, решетками, колосниками. Применяют грохочение для получения двух или нескольких сортов зерен, различающихся по крупности. Число получаемых сортов зависит от количества сит, через которые был пропущен обрабатываемый материал. Так, если количество сит  $n$ , то сортов получается  $n + 1$ .

Последовательность грохочения материала зависит от расположения сит. Различают грохочение от мелкого к крупному, от крупного к мелкому и комбинированное.

При грохочении от мелкого к крупному (рис. 6.1, а) исходный материал подается на сито с самыми маленькими отверстиями, затем на сито с отверстиями средних размеров и, наконец, на сито с самыми большими отверстиями. При грохочении от крупного к мелкому (рис. 6.1, б) верхнее сито имеет самые большие отверстия, а нижнее – самые маленькие. При комбинированном грохочении (рис. 6.1, в) сортируемая смесь подается сначала на сито с отверстиями среднего размера. Куски материала, прошедшие через отверстия в первом сите, поступают на расположенное под ним сито с самыми маленькими отверстиями, в то время как куски больших размеров поступают на второе сито с самыми большими отверстиями.

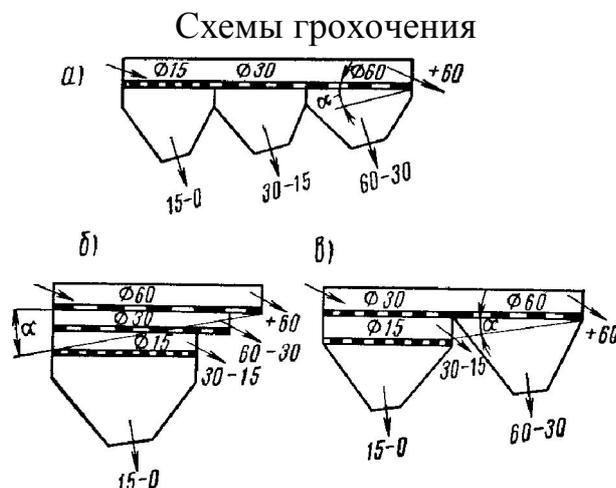


Рис. 6.1

Схема грохочения от мелкого к крупному с эксплуатационной точки зрения достаточно проста, так как позволяет без особых затруднений направлять рассортированный материал по соответствующим бункерам. Упрощается при этом обслуживание грохота и его ремонт. Большим недостатком рассматриваемой схемы является то, что самые большие куски поступают на решето с самыми маленькими отверстиями и вызывают быстрый его износ. Кроме того, при подаче смеси на решето с самыми маленькими отверстиями крупные куски, перекрывая часть отверстий, затрудняют выделение мелких фракций.

Просеивание по второй, наиболее распространенной в промышленности строительных материалов схеме дает лучшие результаты, так как в этом случае крупные куски материала не мешают выделению средней и мелкой фракций. Недостатком этой схемы является то, что она требует дополнительных желобов и лотков, направляющих отдельные сорта в бункеры.

Комбинированная схема по своим преимуществам и недостаткам занимает промежуточное положение.

Куски материала, подлежащего грохочению, могут пройти через отверстия в сите только в том случае, если их размеры меньше размеров отверстий или приближаются к ним. В большинстве случаев грохоты устанавливаются с некоторым наклоном в направлении движения материала. Это еще больше уменьшает размеры частиц, которые могут пройти через отверстия решета или сита.

Все частицы материала, прошедшие через отверстия в сите, представляют собой продукт так называемого нижнего класса, а все частицы, не прошедшие через сито, – продукт верхнего класса.

Рабочей частью грохота является решето или сито, через которое просеиваются материалы, подлежащие грохочению.

По конструкции *решета* могут быть *колосниковыми*, применяемыми для крупного грохочения, и *листовыми* со штампованными отверстиями – для среднего и мелкого грохочения.

Колосниковые решета изготовляют из стальных полос (колосников), расположенных параллельно на некотором расстоянии друг от друга. Величину этого расстояния определяет размер куса, который должен пройти сквозь решето.

Листовые решета (рис. 6.2, *а*) изготовливают с круглыми, прямоугольными или квадратными отверстиями. Отверстия в большинстве случаев бывают расположены в шахматном порядке. Это создает лучшие условия для просеивания. Круглые отверстия дают возможность получить более однородный материал, к тому же штамповать круглые отверстия проще. Чтобы куски материала не застревали, толщина решета всегда должна быть меньше диаметра отверстий.

Листовые решета и проволочные сита

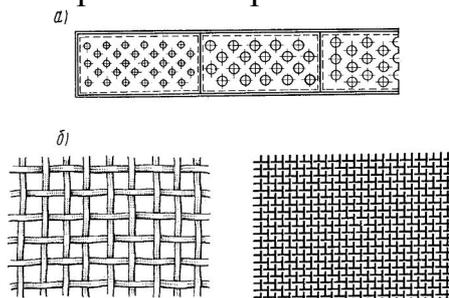


Рис. 6.2

Металлические сита, как правило, имеют относительно низкую стойкость к абразивным и ударным нагрузкам и подвержены интенсивному залипанию пылевидным и влажным материалом. Это приводит к значительному снижению эффективности грохочения и ухудшению гранулометрического состава готовой продукции.

## 6.2. Основы вероятностной теории процесса грохочения

Эта теория базируется на рассмотрении условий прохождения единичной частицы через отверстие (ячейку) просеивающей поверхности. Согласно ей каждый кусок просеиваемого материала рассматривается как частица сферической формы, падающая на просеивающую поверхность с квадратными ячейками (отверстиями). В этом случае вероятность прохождения частицы через ячейку будет определяться как отношение числа случаев  $m$  прохождения частицы через ячейку к общему числу всех случаев  $n$  прохождения частицы над ячейкой:

$$P = m / n.$$

При  $m = 0$   $P = 0$ , т.е. ни в одном случае частица не прошла через ячейку. При  $m = n$   $P = 1$ , т.е. При каждом попадании частицы на просеивающую поверхность оно проходило через ячейку.

Пусть величина  $N$ , обратная вероятности  $P$ , будет определять вероятное число случаев прохождения частицы через ячейку. Если принять, что толщина проволок сита равна  $a$  (рис. 6.3), то вероятность прохождения частицы через ячейку сита составит:

$$P = \frac{(l-d)^2}{(l+a)^2} = \frac{l^2}{(l+a)^2} \left(1 - \frac{d}{l}\right)^2 = \lambda \left(1 - \frac{d}{l}\right)^2.$$

Схема прохождения частицы через отверстие сита

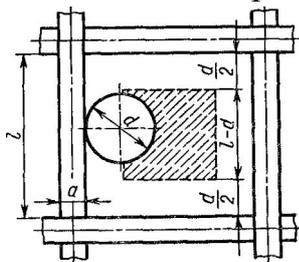


Рис. 6.3

Величина  $\lambda$  характеризует отношение световой поверхности сита ко всей площади сита. Т.е. вероятность прохождения частицы прямо пропорциональна световой поверхности сита и просеивание частицы зависит от соотношения размеров частицы и ячейки и не зависит от их абсолютных размеров.

Вероятностная теория грохочения позволяет сделать следующие выводы.

1. Если построить график зависимости  $N$  от соотношения  $d/l$  (рис. 6.4), то будет видно, что незначительное увеличение диаметра зерна  $d$  более  $0,75l$  вызывает необходимость существенного увеличения числа отверстий на сите для прохождения этого зерна через него. Следовательно, зерна размером менее  $0,75l$  будут легко просеиваться, а зерна размером более  $0,75l$  трудно.

Зависимость вероятного прохождения зерна через отверстие сита от диаметра зерна и размера отверстия

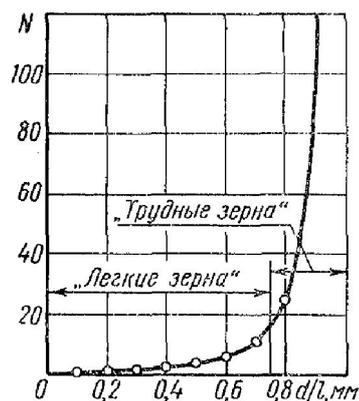


Рис. 6.4

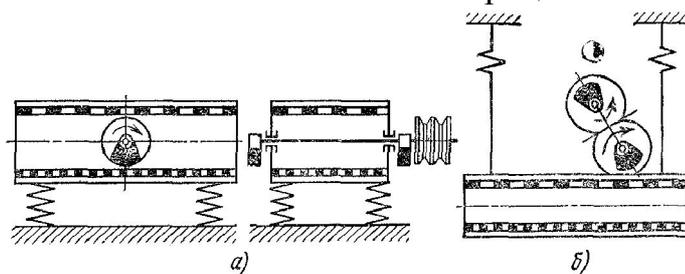
2) при равных соотношениях  $d/l$  независимо от абсолютных размеров ячейки сита и диаметра зерна через каждое отверстие будет проходить одинаковое число зерен;

3) производительность грохочения при прочих равных условиях прямо пропорциональна размеру отверстий.

### 6.3. Вибрационные грохоты

Подразделяются на гирационные (эксцентрикковые) и инерционные. Наибольшее распространение получили инерционные наклонные грохоты с круговыми колебаниями и инерционные горизонтальные грохоты с направленными колебаниями (рис. 6.5).

Основные кинематические схемы вибрационных грохотов



а – с круговыми колебаниями; б – с направленными колебаниями

Рис. 6.5

Грохот с круговыми колебаниями (рис. 6.5, а) состоит из металлического корпуса с расположенными внутри него двумя ситами. В средней части корпуса установлен вибратор. Вал вибратора опирается на два роликоподшипника, прикрепленных к корпусу, и защищен от пыли и ударов трубой. На концах вала симметрично установлены дебалансы (неуравновешенные массы, ось вращения которых не совпадает с центром тяжести), создающие вибрацию при их вращении. Вал получает вращение от электродвигателя через клиноременную передачу.

Для уменьшения износа клиновых ремней и предотвращения передачи вибраций на вал электродвигателя приводной шкив насажен на вал вибратора с эксцентриситетом, примерно равным амплитуде колебаний грохота.

Центробежные силы инерции, возникающие при вращении дебалансов, вызывают круговые или близкие к ним колебательные движения корпуса грохота. Амплитуда этих колебаний зависит от сил инерции, характеристики амортизаторов и нагрузки на грохот.

Грохот опирается на фундамент или подвешивается при помощи пружинных амортизаторов. При увеличении нагрузки на грохот амплитуда колебаний его корпуса соответственно уменьшается, и нагрузка на подшипники остается практически постоянной, т. е. инерционный грохот обладает свойством «самозащиты» от перегрузок. Это позволяет успешно использовать эти грохоты для грубого грохочения крупнокускового материала, например, для отсева мелкого материала перед первичным дроблением.

Гириционный грохот с направленными колебаниями имеет конструкцию аналогичную инерционному грохоту с тем лишь отличием, что вместо неуравновешенных масс для создания вибрации используется эксцентриковый вал, ось вращения которого совпадает с центром тяжести колеблющейся массы. В этом грохоте центробежные силы инерции качающихся масс и материала уравниваются посредством двух маховиков с противовесами.

Инерционные грохоты с направленными колебаниями (рис. 6.5, б) по конструктивному исполнению сложнее, чем грохоты с круговыми колебаниями, из-за вибраторов с направленными колебаниями. Однако в этих грохотах возможно установить просеивающую поверхность горизонтально и тем самым уменьшить его размеры по высоте.

Вибратор грохота с направленными колебаниями (рис. 6.6) состоит из корпуса 2, прикрепленного к корпусу грохота. В корпусе на роликоподшипниках установлены два дебалансных вала 3. На конце одного из валов имеется шкив 1, соединенный клиноременной передачей со шкивом приводного электродвигателя. Второй дебалансный вал приводится во вращение от первого дебалансного вала зубчатой передачей 4 с передаточным отношением, равным единице, что обеспечивает синхронное вращение дебалансных валов.

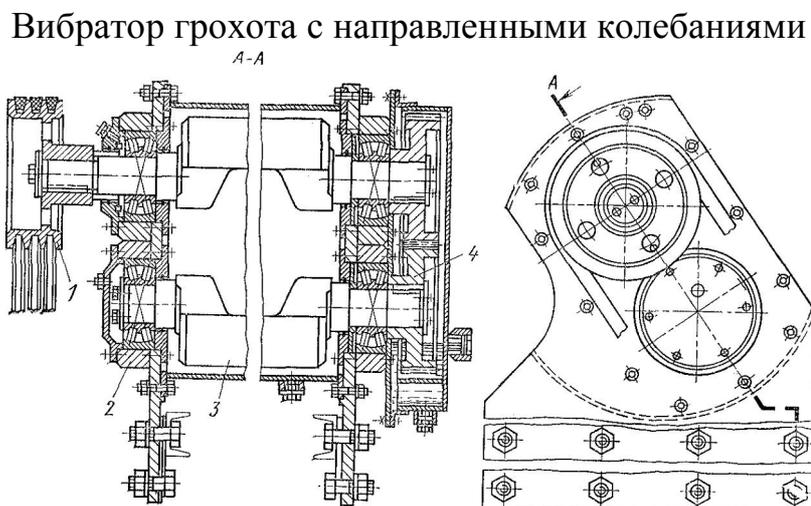


Рис. 6.6

Линия, соединяющая центры дебалансных валов, расположена под углом  $55^\circ$  к горизонту, вследствие чего коробу грохота сообщаются прямолинейные колебания, направленные под углом  $35^\circ$  к плоскости сита.

#### 6.4. Барабанные грохоты

Барабанные грохоты применяют для грохочения порошковых материалов (шамота, кварца и др.). Грохоты изготовляют цилиндрической, конической и многогранной формы; они имеют сита, изогнутые в соответствии с формой барабана. Грохочение материала производится от мелкого к крупному. При вращении барабана материал перекачивается в нем и благодаря наклону или конусности перемещается к разгрузочной части. Частицы материала, которые меньше отверстий в ситах, просыпаются сквозь них и попадают в бункера или на транспортирующие механизмы.

Преимущества барабанных грохотов: 1) равномерное без вибраций вращение, что позволяет устанавливать их на верхних этажах зданий; 2) простота конструкции. К недостаткам барабанных грохотов относятся большие размеры и низкий КПД (0,4-0,6).

Многогранные барабанные грохоты в виде усеченной призмы, которые применяют для сортирования сухих материалов с частицами размером 0,1-3,5 мм, называют буратами.

Сито-бурат (рис. 6.7) состоит из барабана в виде усеченной шестигранной призмы, грани которой закрыты ситами, и вала 1, вращающегося в подшипниках 2. На валу закреплены ступицы 6 с крестовинами, которые соединены между собой металлическими полосами или уголками и образуют каркас. К каркасу винтами 7 прикреплены рамки 5 с натянутыми на них сетками 4. Материал поступает в грохот через воронку 3 с узкой стороны грохота.

Барабанный грохот (сито-бурат)

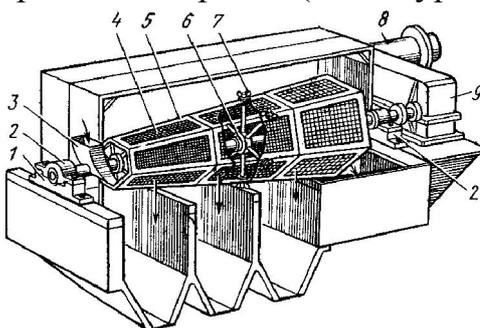


Рис. 6.7

Барабан получает вращение от электродвигателя 8 через редуктор 9, а для предотвращения выделения пыли в помещение он закрыт герметичным кожухом.

#### 6.5. Валковый грохот

Валковый грохот (рис. 6.8) состоит из рамы 1, на которой размещены валки 2 с жестко закрепленными на них дисками. На одном из концов всех валков (кроме

первого) установлены парные звездочки 3, связанные между собой цепями 4. Один из валков является приводным. Привод обеспечивается от электродвигателя через редуктор и клиноременную передачу. Все валки вращаются в одном направлении. Между дисками валков и самими валками образуются зазоры, через которые проваливается мелкая фракция. Крупность фракции определяется размерами зазоров, т. е. расстоянием между валками и дисками.

Валковый грохот

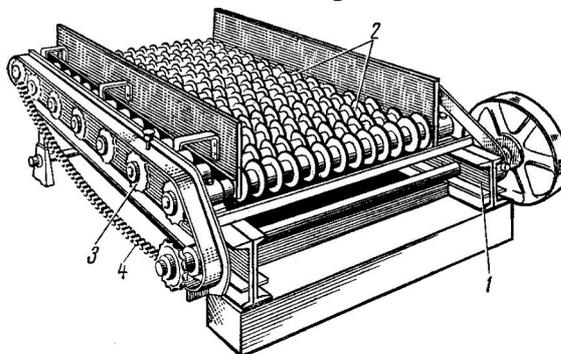


Рис. 6.8

В процессе работы диски ворошат материал, чем облегчают просеивание требуемой фракции. Диски бывают круглые, но устанавливаемые эксцентрично, или треугольной формы.

Валковые грохоты применяют для крупнокусковых материалов. Они имеют высокую производительность, устойчивы в работе и не создают динамических нагрузок, что позволяет устанавливать их в верхних этажах.

## 7. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОЗДУШНОЙ СЕПАРАЦИИ

### 7.1. Основы теории воздушной сепарации

Воздушная сепарация (сортировка) применяется для разделения тонкоразмолотых материалов крупностью менее 1 мм, когда использование грохотов экономически нецелесообразно из-за малой производительности и быстрого износа сит.

Воздушной сепарацией называется разделение сыпучих материалов в воздушном или газовом потоке на фракции (классы) по величине частиц. Этот метод разделения особо широко используется при работе помольных агрегатов в замкнутом цикле с воздушными сепараторами.

Воздушная сепарация основана на том, что крупные частицы сортируемого материала, находящиеся в потоке воздуха, под влиянием сил (гравитационных, центробежных, инерции, трения) осаждаются, а мелкие (тонкая фракция) уносятся воздушным потоком в осадительные устройства.

Применением воздушных сепараторов удастся улучшить технологические свойства измельченных материалов за счет получения порошков более равномерного гранулометрического (зернового) состава, увеличить производительность помольного агрегата и снизить удельные энергозатраты на

измельчение. Выигрыш в производительности и энергозатратах тем больше, чем выше дисперсность готового продукта.

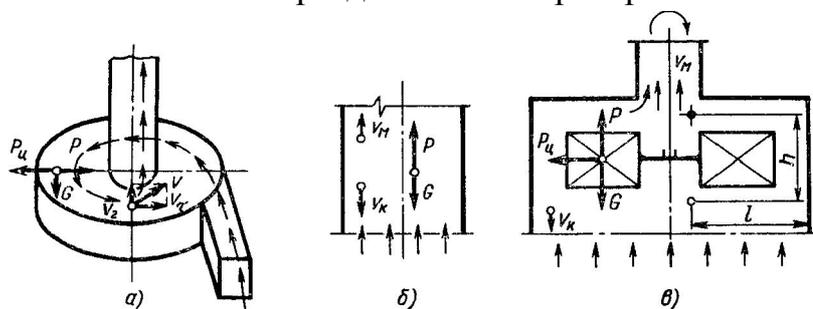
Процесс разделения смеси сыпучих материалов осуществляется в воздушных сепараторах, в которых создаются характерные схемы движения газов и частиц (рис. 7.1). В этих аппаратах регулируются силы, действующие на частицу, и движение частиц различной крупности в разных направлениях. Кроме того, создаются определенные зоны разделения:

а) противоточно-центробежная, в которой условием разделения частиц является равенство центробежной силы  $P_{ц}$  и аэродинамической силы газов  $P$ ;

б) вертикально-поточная, где условием разделения частиц является равенство аэродинамической силы газов  $P$  и силы тяжести частицы  $G$ ;

в) центробежно-поперечно-поточная, в которой границей разделения частиц является равенство времени движения частицы по вертикали  $t_{вЕР}$  и горизонтали  $t_{ГОР}$ .

Схемы зон разделения сепараторов



*a* – противоточно-центробежная; *б* – вертикально-поточная; *в* – центробежно-поперечно-поточная

Рис. 7.1

На основе условий равновесия рассчитываются граничные диаметры частиц, разделяемых в сепараторе, по каждой схеме движения газов. Изменяя скорость движения потоков можно регулировать процесс разделения.

## 7.2. Конструкции воздушных сепараторов

Наибольшее распространение получили воздушные сепараторы следующих видов:

- 1) проходные;
- 2) центробежные или циркуляционные.

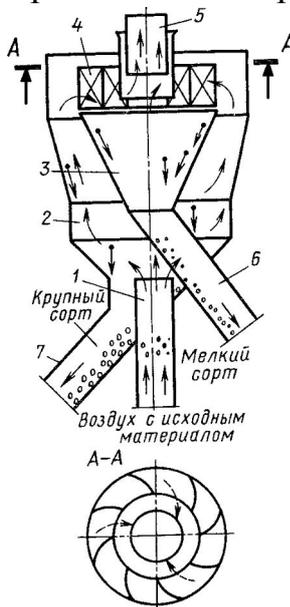
Центробежные подразделяются на сепараторы с внутренней замкнутой системой воздушного потока и сепараторы с выносными циклонами (циклонные).

### 7.2.1. Проходной сепаратор

В проходном сепараторе воздух с исходным материалом поступает по патрубку 1 в корпус 2. Из-за расширения канала, по которому движется смесь, скорость потока падает и крупные частицы выпадают из смеси под действием сил

тяжести. Воздушный поток проходит по направляющим лопастям 4 во внутренний конус 3, где он закручивается и из него выпадают мелкие частицы в результате воздействия на них центробежных сил. Крупные частицы отводятся из сепаратора по патрубкам 7, мелкие по трубе 6, воздух по трубе 5.

Схема проходного сепаратора



1 – патрубок; 2 – корпус; 3 – внутренний конус; 4 – направляющие лопасти; 5, 6 – труба; 7 – патрубок

Рис. 7.2

Граница разделения регулируется изменением площади поперечного сечения патрубка, по которому поступает в сепаратор запыленный воздух, или изменением угла поворота лопастей 4.

Проходные сепараторы используются с диаметром корпуса 3÷4 м, высотой 4÷5 м и имеют пропускную способность 40÷90 тыс. м<sup>3</sup>/ч пылевоздушной смеси.

Преимущества: 1) не имеют движущихся частей; 2) долговечны в работе; 3) удобны в эксплуатации и просты в обслуживании.

Недостатки: 1) большой расход сжатого воздуха; 2) повышенный расход энергии на пневматическое транспортирование материала из мельницы в сепаратор; 3) низкая производительность

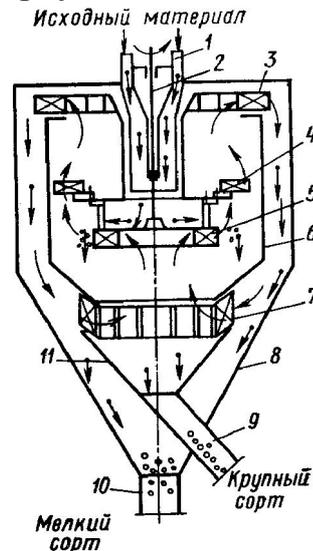
Такие сепараторы рационально применять в установках, где сжатый воздух используется для перемещения мелкосыпучих материалов.

### 7.2.2. Циркуляционный сепаратор (центробежный сепаратор с внутренней замкнутой системой воздушного потока)

Применяются в помольных установках большой производительности.

Такие схемы сепараторов более сложны по конструкции и в эксплуатации, но компактны и экономичны, поскольку в одном агрегате объединены источник движения воздуха (вентилятор), сепарирующие и осадительные устройства.

## Схема циркуляционного сепаратора



1 – патрубок; 2 – вал; 3 – вентилятор; 4 – крыльчатка; 5 – диск; 6 – внутренний корпус; 7 – жалюзи; 8 – наружный корпус; 9, 10 – труба; 11 – воронка

Рис. 7.3

Исходный материал поступает по патрубку 1 на вращающийся на валу 2 диск 5, с которого сбрасывается под действием центробежной силы. Крупные частицы падают под действием сил тяжести или отбрасываются центробежной силой к стенкам внутреннего корпуса 6, где теряют скорость и также сползают вниз в воронку 11, образуя крупную фракцию, которая выводится из сепаратора по трубе 9.

Вентилятор 3 и крыльчатка 4, вращаемые вместе с диском 5, засасывают воздух из нижней зоны, который пересекает материал, сбрасываемый с диска, захватывает средние и мелкие частицы, выносит их в зону вращения крыльчатки 4. Здесь под действием центробежных сил вращающегося потока средние частицы отбрасываются к стенкам корпуса 6 и стекают вниз в крупный продукт. Мелкие частицы вместе с воздухом проходят через вентилятор 3 в пространство между наружным и внутренним корпусами, где воздух движется вниз по спирали. Окружная скорость потока воздуха в этой зоне максимальная, вследствие чего имеющиеся в нем мелкие частицы отбрасываются центробежной силой к стенкам корпуса 8, теряют скорость и стекают вниз по трубе 10, образуя мелкую фракцию. Воздух снова через жалюзи 7 поступает во внутренний кожух, захватывая случайно попавшие в крупный продукт мелкие частицы.

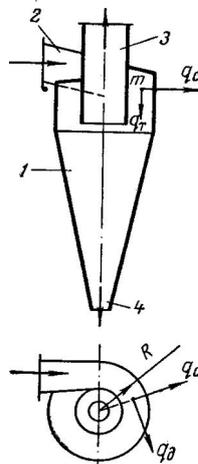
Граница разделения в рассмотренном сепараторе может регулироваться изменением радиуса расположения лопастей крыльчатки 4 и угла установки лопаток жалюзей 7.

### 7.2.3. Циклоны

Принцип работы циклона следующий. Газ, содержащий твердые частицы, через штуцер 2, тангенциально вводится в корпус 1, где приобретает вращательное движение (рис. 7.4). В таком потоке на частицу  $m$  действуют три главные силы: тяжести  $q_t$ , которая увлекает частицу вниз, центробежная сила  $q_c$ , выталкивающая

частицу в радиальном направлении, и сила давления потока  $q_0$ , заставляющая частицу двигаться по окружности. Траекторией такого сложного движения частицы является спираль, расходящаяся к низу циклона. Достигнув стенки аппарата, частицы под действием силы тяжести будут двигаться по коническому дну к выводному штуцеру 4.

Схема циклона-сепаратора



1 – корпус; 2 – входной штуцер; 3 – выходной штуцер; 4 – штуцер для отвода крупной фракции.

Рис. 7.4

Мелкие частицы, не успевшие достигнуть стенки аппарата, вместе с газом будут продвигаться к штуцеру 3. При этом на крутом повороте у входа в штуцер выносятся самая мелкая фракция. В рассматриваемом аппарате материал делится на две фракции: нижнюю и верхнюю, но таким способом можно разделить материал и на большее число фракций.

Отношение центробежной силы, действующей на частицу, к ее весу (силе тяжести) носит название центробежного фактора, или фактора разделения. Он показывает, во сколько раз центробежная сила больше силы тяжести частицы. Из этого соотношения видно, что с увеличением скорости вращения частицы фактор разделения возрастает, а с увеличением радиуса – уменьшается. Поэтому для повышения разделительной способности циклона следует либо увеличивать скорость частиц в потоке, либо уменьшать радиус вращения частиц (радиус цилиндрической части циклона). Экономически эффективнее использовать одновременно два способа, что приведет к уменьшению размеров аппарата, а, следовательно, и к сокращению эксплуатационных расходов.

## 8. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Крупность материала, подвергаемого гидравлической классификации, в основном не превышает 5,0 мм. Процесс классификации может происходить в вертикальных и горизонтальных струях воды.

Гидравлическая классификация основана на том, что жидкие системы, включающие твердые тела, склонны к разделению под действием силы тяжести. Если весовая плотность жидкой системы меньше плотности частиц, то последние оседают на дно сосуда.

Скорость оседания частиц зависит от их размера, удельного веса и формы. Таким образом, гидравлическая классификация основана на различной скорости падения частиц. Размеры частиц имеют решающее значение, так как они могут меняться в широких пределах, в то время как плотности их различаются не столь уж значительно.

При падении тела в жидкости возникают два вида сопротивлений: сопротивление трения, вызываемое вязкостью жидкости, и сопротивление сил инерции (динамическое сопротивление).

Первый вид сопротивления является преобладающим при относительно малой скорости падения частиц (при ламинарном потоке среды) размером менее 0,175 мм. При оседании частиц размером в 1,5 мм и более сопротивление трения резко уменьшается и главенствующим становится динамическое сопротивление, при этом поток среды приобретает турбулентный характер.

По конструктивному исполнению и характеру движения гидросмеси гидравлические классификаторы подразделяют на горизонтальные и вертикальные, а по принципу действия – на свободного и стесненного падения.

К группе классификаторов относят также спиральные и речные классификаторы, в которых используется механическое воздействие рабочего органа на материал в процессе разделения его на фракции.

Особую подгруппу составляют центробежные классификаторы, в которых материал разделяется на фракции под действием различных центробежных сил, действующих на зерна разной крупности во вращательном потоке пульпы.

### *8.1. Спиральный классификатор*

Спиральные классификаторы отличаются простотой конструкции, большой производительностью и эффективностью. Они получили наибольшее распространение при мокрых процессах обогащения песка. Спиральный классификатор представляет собой короб, основной рабочей частью которого является спираль. При вращении спирали пульпа взмучивается; слив, содержащий мелкие частицы, отводится в нижней части короба через сливной порог, а крупные частицы направляются спиралью к верхнему разгрузочному окну.

Различают спиральные классификаторы с непогруженной спиралью и погруженной. В первых классификаторах порог расположен ниже верхней кромки спирали на сливном конце (рис. 8.1), во вторых классификаторах нижний конец спирали полностью погружен в пульпу, вследствие чего верхняя зона осаждения твердых частиц находится в относительном покое, что обеспечивает более четкую классификацию. Эти классификаторы могут быть односпиральными и двухспиральными и соответственно отличаться шириной корыта и производительностью при одинаковой длине.

Спиральные классификаторы используют в основном для выделения в слив частиц песка размером менее 0,15 мм, а также для обезвоживания песков до транспортабельного состояния.

## Спиральный классификатор для песка с высоким порогом

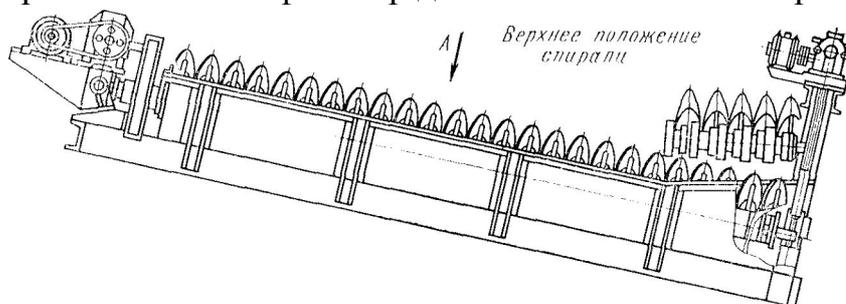


Рис. 8.1

### 8.2. Вертикальные гидравлические классификаторы

Вертикальные гидравлические классификаторы работают по следующей схеме. Песчано-гравийная смесь вводится в классификатор через нижний патрубок и, проходя диффузор, поступает в обогатительную камеру, площадь сечения которой значительно превышает площадь верхнего сечения диффузора. Поэтому скорость восходящего потока гидropесчаной смеси после выхода ее из диффузора значительно уменьшается, что влечет за собой выпадение наиболее крупных частиц, которые из обогатительной камеры попадают в классификационную. Камера классификации расположена между диффузором и внешней оболочкой аппарата. Над ней находится обогатительная камера.

Чистая вода, образующая в камере винтовой восходящий поток, в котором материал разделяется по заданному граничному зерну, подается в нижнюю часть классификационной камеры. Частицы песка, скорость падения которых меньше скорости восходящего потока, отводятся по трубе как шлам через верхний сливной коллектор, крупный продукт, выпавший из классификационной камеры, обезвоживается и транспортируется на склад.

Вертикальный классификатор (рис. 8.2) разделяет исходную гидросмесь на две фракции по одному граничному зерну. Граница разделения в пределах  $0,5 \div 3,0$  мм регулируется количеством подаваемой воды в классификационную камеру и площадью ее поперечного сечения, которую можно изменять при перестановке трех диффузоров, комплектующих классификатор.

### Схема вертикального классификатора

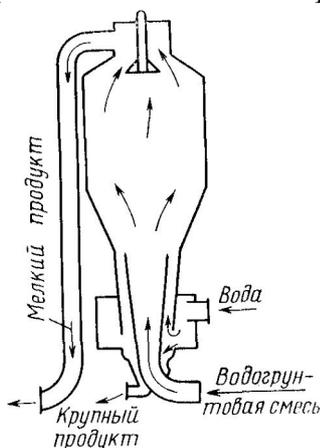


Рис. 8.2

Вертикальные гидроклассификаторы работают под напором и рассчитаны на давление 0,3 МПа на уровне сливного коллектора, так что транспортирование крупного и мелкого продукта может происходить под действием давления, создаваемого внутри классификатора гидронасосами, подающими водопесчаную смесь, и водным насосом, подающим дополнительную воду.

### *8.3. Горизонтальные гидравлические классификаторы*

Горизонтальные гидравлические классификаторы по характеру осаждения частиц в классификационных камерах можно разделить на две группы: со свободным и стесненным падением.

Классификаторы первой группы представляют собой желоб призматического или пирамидального сечения, в котором происходит выпадение частиц песка из перемещающейся по желобу пульпы. Поступающая в эти классификаторы пульпа сильно разжижена и движется с малой скоростью, что обеспечивает хорошие условия осаждения частиц по крупности. Частицы более крупные осаждаются в начале классификатора, а более мелкие – в конце. Обычно такие классификаторы имеют несколько поперечных перегородок, образующих отдельные классификационные камеры.

Гидроклассификатор свободного падения (рис. 8.3) представляет собой емкость прямоугольного сечения. Дно емкости выполнено с разгрузочными отверстиями и клапанами. Над каждым разгрузочным отверстием установлен датчик управления клапаном, задающим элементом которого является вертикальный вал с крыльчаткой на конце. Вал с крыльчаткой вращается в потоке пульпы с заданной скоростью. Осевший песок скапливается на дне классификатора, и когда толщина слоя над выходным отверстием достигает определенного значения, создается сопротивление вращению крыльчатки, в результате чего значительно замедляется ее вращение или она останавливается, что является сигналом к открытию клапана.

Гидроклассификатор свободного падения

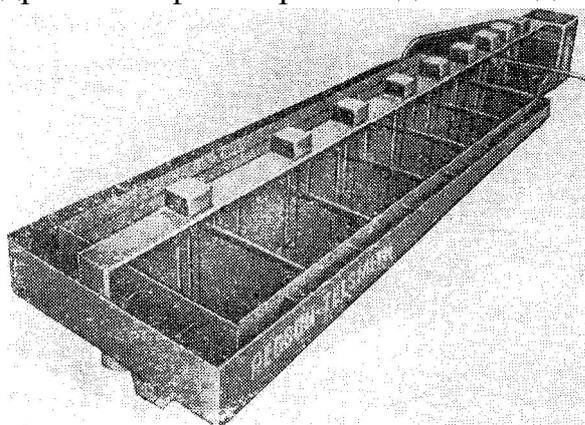


Рис. 8.3

Эффективность работы этих классификаторов низкая, поэтому их применяют для получения мелкого заполнителя, используемого в бетонах невысоких марок.

Поскольку крупность исходного песка при его обработке в гидравлических классификаторах ограничена, и, кроме того, готовый продукт требует

обезвоживания, то гидравлические классификаторы обычно работают в комплексе с грохотами и спиральными классификаторами. Производительность гидравлических классификаторов свободного падения достигает 100 т/ч.

Для более высокой точности разделения материала на фракции используют классификаторы стесненного падения с восходящим потоком воды (рис. 8.4). Преимуществами этих классификаторов являются компактность, относительно большая производительность, а также возможность получения необходимого количества фракций песка. Требуемое качество песка достигается не только вследствие подачи дополнительного количества воды при классификации, но и увеличением числа камер.

Фракции, требуемого размера получают регулированием количества воды, подаваемой в классификационные камеры снизу и образующей восходящие, потоки. Вода, поднимаясь по камере, выносит частицы песка, скорость падения которых меньше скорости движения восходящих потоков.

Песок разгружается из камер автоматически при заданной плотности пульпы. Для измерения плотности пульпы в каждой камере установлена гидростатическая трубка 3 с двумя индукционными датчиками уровня 1. Внутри трубки имеется поплавок 2 (с ферритовой пластинкой). При накапливании взвешенных частиц в камере плотность пульпы увеличивается и вследствие этого поднимается уровень воды в гидростатической трубке вместе с поплавком. При достижении поплавком уровня верхнего датчика через систему реле подается сигнал на открытие разгрузочного отверстия 4 классификационной камеры. В процессе разгрузки плотность в камере уменьшается, уровень воды, а также поплавок опускаются. При прохождении поплавка через нижний датчик система автоматического управления дает команду на закрытие разгрузочного отверстия. Затем начинается новый цикл работы камеры. Изменяя расстояние между верхним и нижним датчиком, а также расположение их по высоте трубки, можно изменять продолжительность цикла работы камеры, время разгрузки и плотность разгружаемой пульпы. Автоматическая система разгрузки материала из камер в классификаторе обеспечивает получение четырех фракций песка с постоянным зерновым составом и постоянной плотностью.

Схема классификационной камеры

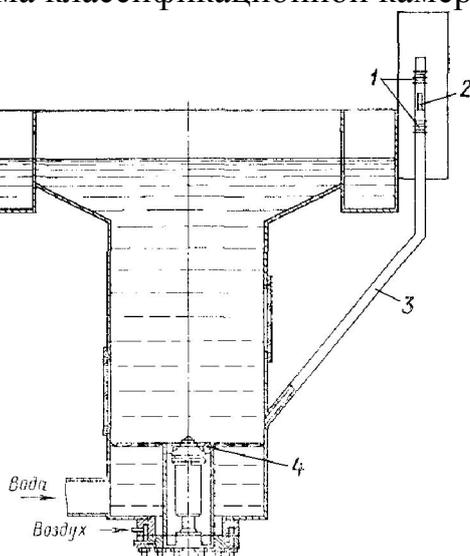


Рис. 8.4

Производительность классификатора складывается из производительности его отдельных камер. При изменении зернового состава исходного материала и требуемых границ разделения производительность будет изменяться.

#### 8.4. Центробежные гидрокласификаторы

Их работа основана на использовании центробежных сил инерции, возникающих во вращающемся потоке пульпы. Эффективность разделения зависит от соотношения между скоростью оседания частиц и скоростью потока пульпы в классификаторе. Чем выше центробежное ускорение, тем меньше граница разделения и, следовательно, выше производительность по твердому материалу. Центробежные классификаторы применяют в основном для классификации мелких частиц с граничным размером  $5 \div 500$  мкм.

Различают два типа центробежных классификаторов.

1. Центрифуги – аппараты, в которых вращение гидросмеси достигается вращением движущихся рабочих поверхностей. Центрифуги в основном используют для обезвоживания таких мелкозернистых материалов, как глина, мел и т. д. Широкого применения в промышленности строительных материалов они не нашли из-за значительного износа рабочих поверхностей.

2. Гидроциклоны – неподвижные аппараты, к которым пульпа подводится тангенциально с необходимой скоростью. Гидроциклон представляет собой литой или сварной корпус, нижняя часть 1 которого имеет форму конуса, а верхняя 2 – цилиндра (рис. 8.5).

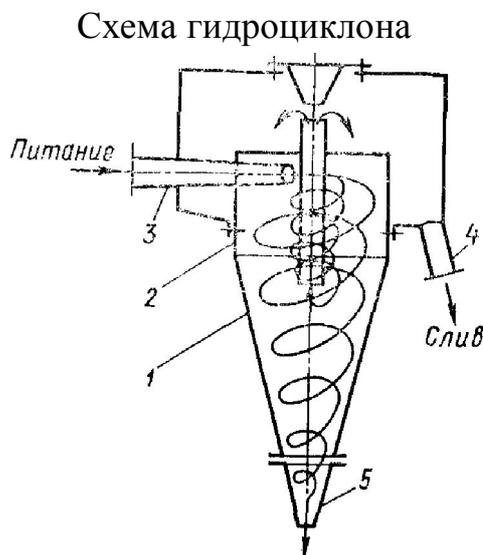


Рис. 8.5

Исходный материал под давлением  $0,2 \div 0,3$  МПа подается через питающий патрубок 3 в цилиндрическую часть корпуса тангенциально к внутренней поверхности, что позволяет создать вращательное движение пульпы. Скорость на входе в гидроциклон достигает нескольких десятков метров в секунду. В связи с этим возникает центробежное ускорение, которое превышает ускорение свободного падения частиц в несколько раз. При этом каждая частица материала движется по

винтовой спирали относительно оси аппарата. Чем крупнее частица, тем больше радиус ее вращения. В нижней половине конуса вращательный поток вследствие разных по значению центробежных сил инерции разделяется на две части: крупные частицы выпадают и разгружаются через насадку 5, мелкие подхватываются вихревым потоком в центре гидроциклона и через сливной патрубков 4 выводятся наружу.

Граница разделения в гидроциклоне регулируется давлением на входном патрубке, причем, чем выше давление, тем меньше получается размер граничного зерна.

Применять гидроциклоны для фракционирования песков с границей разделения более 0,5 мм неэффективно, так как с повышением крупности слива необходимо уменьшать давление на входе, что, в свою очередь, вызывает резкое снижение качества получаемого материала.

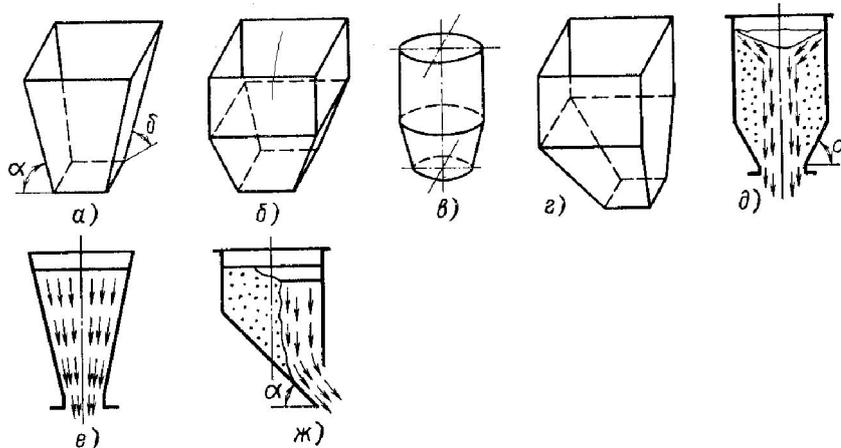
Размеры гидроциклонов зависят от требуемой производительности и крупности частиц в сливе. Чем меньше диаметр гидроциклона, тем более точно осуществляется разделение частиц на фракции.

## 9. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ И ПИТАНИЯ МАШИН. ГРАНУЛЯТОРЫ

### 9.1. Бункера

Бункера представляют собой емкости для кратковременного хранения материалов. Их устанавливают в начальных и конечных технологических постах транспортирования материалов, в местах перегрузок, а также используют в качестве промежуточных емкостей, обеспечивающих стабильную работу оборудования при неравномерном поступлении материалов, или для обеспечения работы машин циклического и непрерывного действия.

Схемы бункеров и разгрузки



*a* – пирамидальный бункер; *б, г* – призматически-пирамидальный бункер;  
*в* – цилиндрический бункер; *д* – нормальная разгрузка; *е* – гидравлическая разгрузка;  
*ж* – смешанная разгрузка

Рис. 9.1

В зависимости от назначения и условий работы бункера по форме разделяют на пирамидальные (рис. 9.1, а), призматически-пирамидальные (рис. 9.1, б, в), цилиндрические (рис. 9.1, в).

Разгрузка материалов из бункеров может быть следующей:

– нормальной (рис. 9.1, д), при которой перемещается материал, находящийся над выходным отверстием;

– гидравлической (рис. 9.1, е), когда движется весь материал, находящийся в бункере;

– смешанной (рис. 9.1, ж).

Расход материала из бункера определяется по формуле:

$$Q = F \cdot v$$

где  $F$  – площадь выходного отверстия, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость истечения материала, м/с.

Скорости истечения материалов (м/с) рекомендуется определять по следующим зависимостям:

– при нормальном истечении

$$v = \lambda \sqrt{3,2gR};$$

– при гидравлическом истечении

$$v = \lambda \sqrt{2gh},$$

где  $\lambda$  – коэффициент истечения, определяемый опытным путем (для пылевидных и влажных материалов  $\lambda = 0,22$ , для кусковых  $\lambda = 0,4$  и для зернистых  $\lambda = 0,6$ ;  $R$  – гидравлический радиус отверстия, равный отношению его площади  $F$  к периметру  $A$ , м;  $h$  – высота материала в бункере, м.

Минимальная площадь выходного отверстия определяется по формуле:

$$F_{\min} = \frac{Q}{v_{\min}}$$

где  $d_{\text{ср}}$  – поперечный размер типичного куска, м;  $\varphi$  – угол внутреннего трения (угол естественного откоса).

Для порошковых и мелкозернистых материалов площадь разгрузочного отверстия должна быть не менее 0,09 м<sup>2</sup>.

Для обеспечения свободного истечения материала из бункера необходимо выполнить условие

$$\text{tg } \delta \geq f,$$

где  $\delta$  – угол наклона ребра бункера;  $f = f_s / \sin \beta / 2$  – приведенный коэффициент трения;  $f_s$  – коэффициент внешнего трения материала о стенку;  $\beta$  – угол между наклонными гранями.

Угол  $\delta$  должен быть больше угла естественного откоса материала в покое.

Для уменьшения сводообразования размер выходного отверстия следует принимать не менее  $3d_{\text{ср}}$ .

Для облегчения разгрузки материала стенкам бункера можно сообщать вибрацию или применять аэрирование.

## 9.2. Затворы

Затворы предназначены для перекрытия выпускных отверстий бункеров.

## Схемы затворов

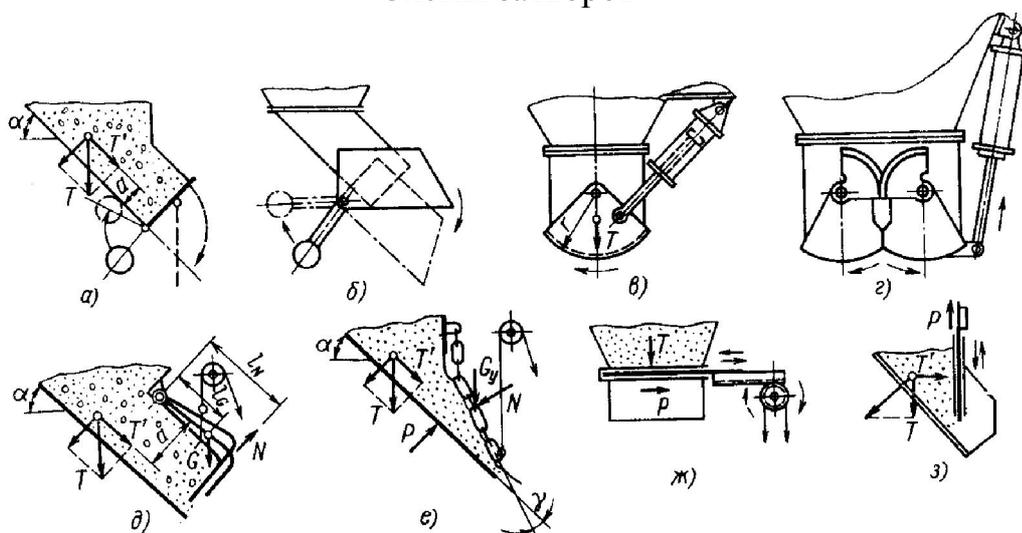


Рис. 9.2

Наиболее распространенными схемами затворов являются:

- клапанный откидной затвор (рис. 9.2, а), применяемый для бункеров малого объема, когда они разгружаются за один прием;
- клапанный подпорный затвор (рис. 9.2, б), применяемый для бункеров малой и средней вместимости для зернистых и кусковых материалов, перекрывающий выпускное отверстие под нагрузкой (наличие угла наклона лотка позволяет регулировать скорость выхода материала);
- секторные затворы (рис. 9.2, в, з), применяемые для мелкозернистых материалов и пластичных сред (бетоны, растворы), в которых можно регулировать сечение выходящего потока материала вручную или с помощью пневмоцилиндров или других видов приводов;
- пальцевый и цепной затворы (рис. 9.2, д, е), применяемые для крупнокусковых материалов;
- шибберные затворы (рис. 9.2, ж, з), применяемые для порошкообразных материалов (они могут быть установлены в горизонтальном, вертикальном или наклонном положении).

## 9.3. Питатели

Питатели применяют для равномерной подачи материалов из бункеров в дозаторы, транспортирующие машины и другое технологическое оборудование.

По характеру движения рабочих органов различают следующие типы питателей:

- с непрерывным движением рабочих органов по замкнутому контуру (ленточные, пластинчатые, цепные),
- с колебательным движением рабочих органов (вибрационные, секторные, лотковые, ячейковые);
- с вращательным движением рабочих органов (винтовые барабанные, тарельчатые).

Питатели выполняют также функции затворов.

### 9.3.1. Питатели с колебательным движением рабочих органов

Для этих питателей характерно возвратно-поступательное перемещение рабочих органов при подаче материала.

*Лотковые питатели* применяют для подачи сыпучих и средней крупности кусковых материалов.

Лотковый питатель (рис. 9.3) состоит из рамы 7, на которой установлен лоток 5, опирающийся на ролики 6, и привод, состоящий из электродвигателя 1 и редуктора 2. Выходные валы редуктора имеют кривошпы 3, при вращении которых через шатун 4 лотку сообщается возвратно-поступательное перемещение.

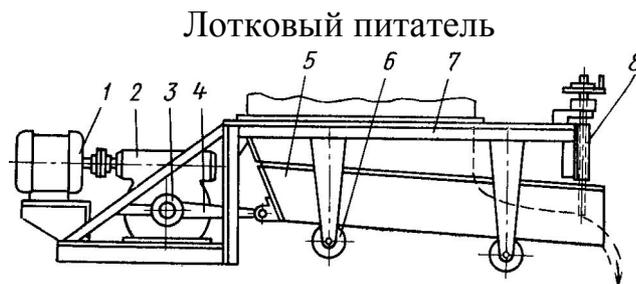


Рис. 9.3

При поступательном движении лотка вперед часть материала выносится из зоны питающей воронки, а при обратном ходе материал сбрасывается с лотка. Над выходной частью лотка установлен шибер 8, при помощи которого регулируется сечение потока материала.

*Вибрационный питатель-дозатор* (рис. 9.4) для горячих материалов имеет лоток 4, опирающийся на основание 1 через рессоры 3 и пружины 2.

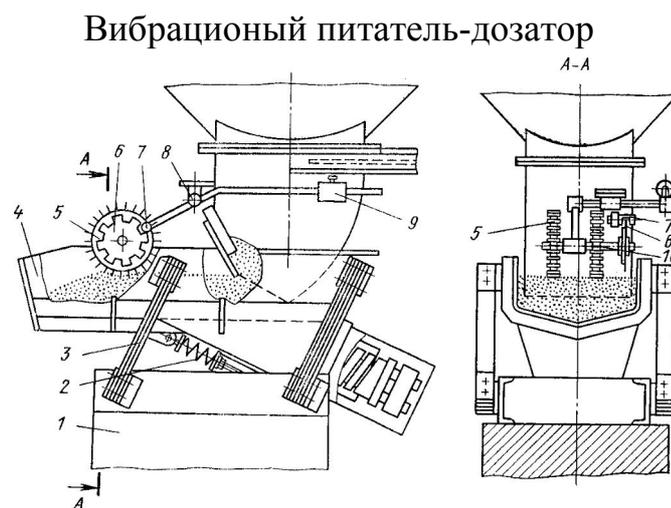


Рис. 9.4

Лопастное колесо 5, установленное на подвеске 8 с контргрузом 9, служит для измерения скорости движения материала. На оси 10 закреплен диск 6 с зубцами, который управляет работой бесконтактного датчика 7. При вращении диска датчик вырабатывает однополярные электрические импульсы, длительность которых

обратно пропорциональна скорости движения материала. Система автоматики сравнивает длительность импульсов с длительностью сигналов задатчика, настроенного на нужную производительность. Сигнал рассогласования подается на вход исполнительного механизма, который плавно изменяет напряжение в обмотке катушки вибровозбудителя, до уровня, при котором будет равенство длительности импульсов датчика и задатчика.

Маятниковые секторные питатели применяют для подачи материалов крупностью не более 50 мм (рис. 9.5).

Маятниковый секторный питатель

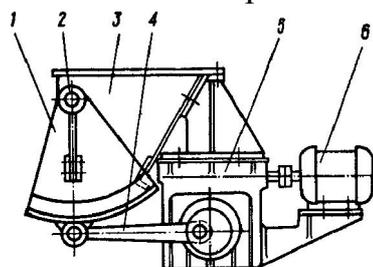


Рис. 9.5

Питатель, установленный под бункером, служит одновременно затвором. Секторный маятниковый питатель состоит из затвора 1, подвешенного на оси 2 к стенкам воронки 3. Качательные движения затвор получает от шатунно-кривошипного механизма 4, приводимого двигателем 6 через редуктор 5.

Производительность питателя регулируется изменением хода секторного затвора (в результате изменения эксцентриситета кривошипа) и шибером, установленным на передней стенке воронки.

### 9.3.2. Питатели с вращающимся движением рабочих органов

Эти питатели применяют для подачи порошковых и зернистых материалов. Они могут использоваться как самостоятельные устройства или как составная часть дозаторов.

*Барабанный затвор-питатель* (рис. 9.6) применяется для равномерной выдачи сыпучих материалов из бункера или для герметизации выходных патрубков циклонов.

Барабанный затвор-питатель

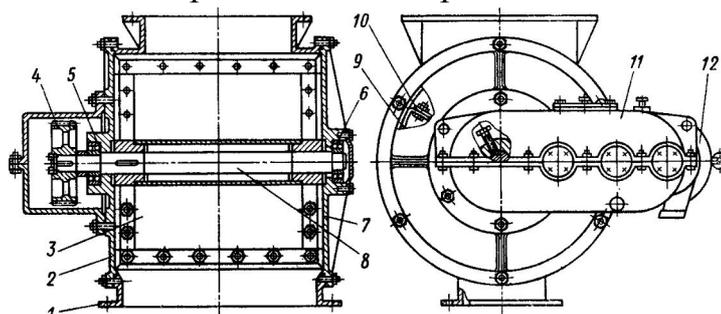


Рис. 9.6

Питатель состоит из корпуса 1, закрытого торцовыми крышками 2 и 7, в которых на подшипниках 5 и 6 установлен вал 8, несущий барабан 3. Вращение барабану передается от двигателя через редуктор 11 и зубчатое колесо 4. На барабане установлены радиально расположенные лопасти 10, образующие шесть секторов-ячеек. Дозирование материала обеспечивается благодаря порционной выдаче материала из ячеек ротора при его вращении. На лопастях установлены резиновые уплотнения 9 специального профиля, обеспечивающие герметичность и повышенную износостойкость.

*Ячейковый барабанный затвор-питатель* (рис. 9.7) предназначен для подачи сыпучих горячих (до 300°C) материалов.

Ячейковый барабанный затвор-питатель

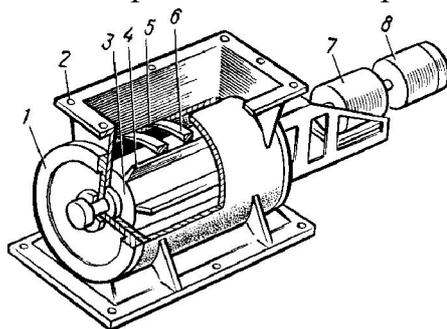


Рис. 9.7

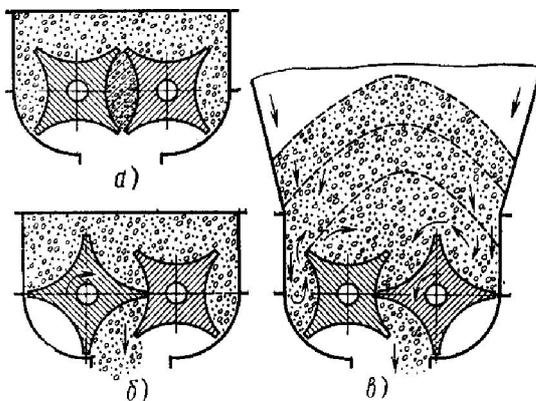
В корпусе питателя 2, закрытого торцовыми крышками 1, установлен ротор 3, снабженный лопастями 4, образующими восемь ячеек. Вал ротора приводится во вращение двигателем 8 через редуктор 7. От износа корпус ротора защищен сменной гильзой 5, в которой имеются проемы, совпадающие с входным и разгрузочным отверстиями корпуса. В проемах гильзы установлены диагонально расположенные ребра 6. Лопасти, образующие ячейки и изготовленные из жаропрочной пружинной стали, прикреплены к ротору таким образом, чтобы наружный диаметр, описываемый ими в свободном состоянии, превышал внутренний диаметр гильзы, вследствие чего обеспечивается их плотное прижатие к гильзе и герметичность затвора.

Благодаря наличию тангенциально расположенных ребер в проемах гильзы износ лопастей происходит более равномерно. Герметичность затвора в осевом направлении обеспечивается лабиринтными и сальниковыми уплотнениями.

Для обеспечения повышенной точности дозирования сыпучих материалов используется *двухвальный ячейковый питатель* (рис. 9.8). Питатель работает в следующей последовательности. Первоначально в полости между роторами содержится порция материала (рис. 9.8, а). При включении привода начинает поворачиваться по часовой стрелке левый ротор, который своей лопастью выгружает порцию материала из полости между роторами и одновременно другой своей лопастью подготавливает следующую (рис. 9.8, б). Затем начинает поворачиваться правый ротор, который выполняет аналогичную операцию, и т. д. За один оборот вала выдается две порции материала. Внутренняя полость корпуса полностью перекрыта роторами в любом их положении, что исключает самопроизвольное истечение материала. В процессе работы ячейки ротора

непрерывно взаимно очищаются, что обеспечивает надежную работу питателя при подаче влажных налипающих материалов. Истечение материала из бункера (рис. 9.8, в) происходит с опережением у стенок и образованием в центре выпуклого конуса, что исключает зависание материала.

### Схема работы двухвального ячейкового питателя

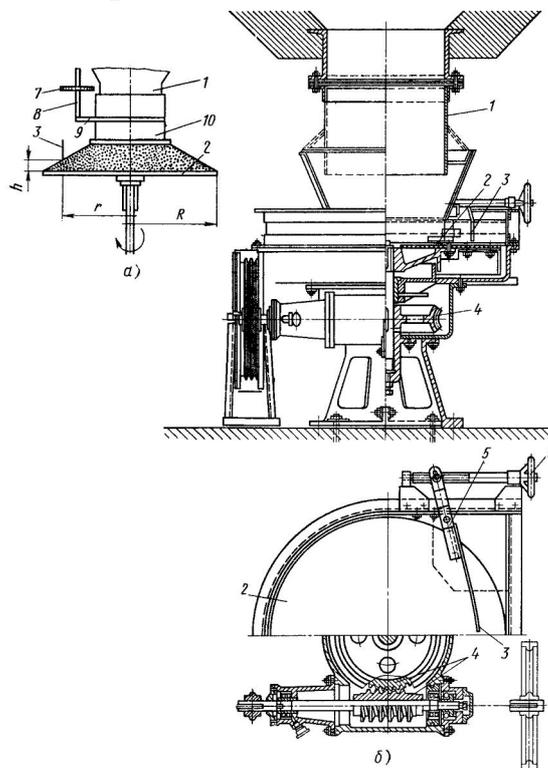


*a* – исходное положение; *б* – с вращением левого ротора; *в* – с вращением правого ротора

Рис. 9.8

*Тарельчатые (дисковые) питатели* (рис. 9.9) применяют для непрерывной подачи порошковых и мелкокусковых материалов в машины и для объемного их дозирования.

### Тарельчатый питатель



*a* – рабочий орган питателя; *б* – схема питателя

Рис. 9.9

Питатель состоит из трубы 1, соединенной с бункером, и вращающегося диска (тарелки) 2, приводимого в движение через редуктор 4. Материал, поступающий на тарелку, сбрасывается в лоток ножом 3. Количество подаваемого материала за один оборот диска регулируется изменением угла установки ножа при помощи винта 6 и рычага 5 или изменением положения обоймы 10 при помощи маховичка 7, винта 8 и вилки 9. В первом случае изменяется объем кольца материала, равный объему усеченного конуса за вычетом объема цилиндра, определяемого положением и диаметром обоймы 10. Во втором случае изменяется общий объем конуса материала на диске.

Для нормальной работы питателя центробежная сила, действующая на частицы материала, не должна выбрасывать материал с тарелки.

#### 9.4. Шламовые питатели

Шламовые питатели служат для непрерывного и равномерного питания печей мокрого способа шламом. Наиболее широкое распространение получили ковшовые и реактивные шламовые питатели.

Ковшовые питатели (рис. 9.10) состоят из сварного бака 6, разделенного перегородками 3 на две части: большую 7 и меньшую 5. Меньшая часть называется распределителем и является приемной частью питателя, в которую подается шлам из шламового бассейна насосом через трубу 9. Через выпускные отверстия в перегородке 3, сечения которых регулируются с помощью подвижных шиберов 10, шлам поступает в большую расходную часть 7. В случае переполнения распределительного отсека, шлам через боковые окна переливается в сливной отсек, а оттуда направляется обратно в шламовый бассейн.

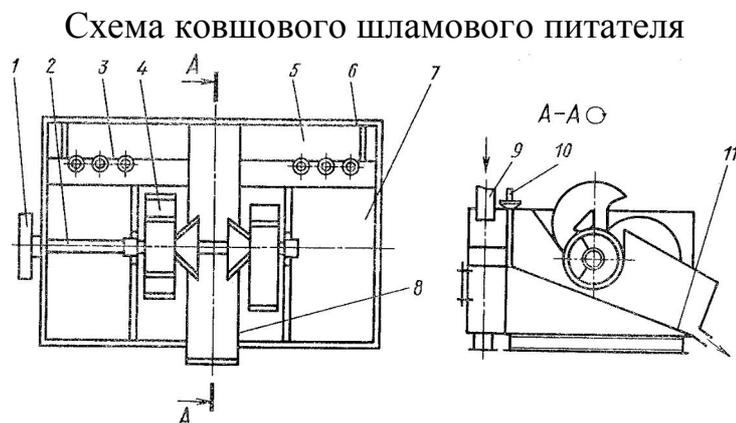


Рис. 9.10

В расходном отсеке на валу 2 установлены трехчерпаковые колеса 4. Привод колес состоит из электродвигателя с регулируемой частотой вращения, редуктора с установленной на выходном валу шестерней, которая вращает приводную шестерню 1, закрепленную на валу 2.

Расходный отсек заполняется шламом до определенного постоянного уровня, достаточного для загрузки черпаков. Подаваемый черпаками шлам сливается в лоток, образованный вертикальными листами 8 и наклонным днищем 11. Из лотка шлам стекает в питательную трубу печи.

На многих вращающихся печах мокрого способа установлены автоматические реактивные питатели шлама (АРПШ), основанные на дозировании шлама по массе в отличие от ковшовых, осуществляющих дозирование по объему (рис. 9.11).

Питатель АРПШ состоит из напорного бака 1, в который подается шлам 3, датчика 4, сливного короба для слива излишков шлама 2, контрольного бака 5, подающего шлам в печь, и средств измерений, регулирования и управления расходом шлама. Напорный бак предназначен для создания постоянного напора в линии регулирования подачи шлама и устранения пульсаций давления шлама, возникающих при неравномерной работе шламовых насосов. Внутри бака установлен щелевой клапан.

Автоматический реактивный питатель шлама

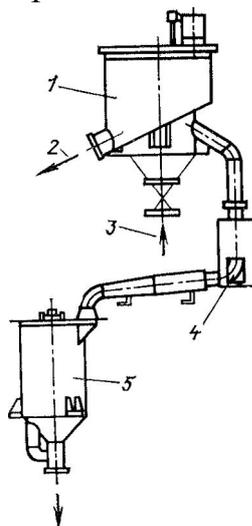


Рис. 9.11

Основным элементом питателя является датчик – устройство направления потока струи шлама по колену, загнутому под углом  $90^\circ$  (рис. 9.12).

Датчик расхода реактивного питателя шлама

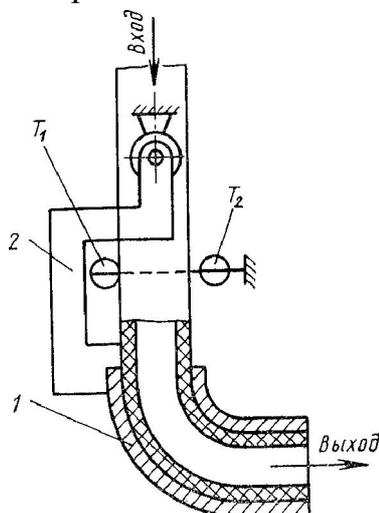


Рис. 9.12

Датчик посредством гибкого шланга 1 подвешен к входному патрубку и через траверсу 2 и две плоские прямые пружины связан с рамой. Реактивная сила, возникающая при прохождении шлама, по шлангу, вызывает его отклонение на величину, обусловленную жесткостью пружин и расходом шлама. Это отклонение измеряется датчиками  $T_1$  и  $T_2$  дифференциально-трансформаторной системы, сигнал с которых поступает в схемы автоматического контроля и регулирования.

Шланг 1 ограждает и гасит струю шлама, выходящую из датчика, и направляет ее в контрольный бак 5, который используется для градуирования питателя и периодической проверки его производительности. Замер производительности питателя производится по времени наполнения определенного объема контрольного бака, ограниченного нижним и верхним уровнем. Прекращение подачи шлама осуществляется с помощью запорного клапана, выполненного из резины и приводимого в движение от пневмоцилиндра.

## 9.5. Дозаторы

Дозаторами называют машины и устройства, обеспечивающие непрерывную или периодическую (циклическую) подачу материала в заданных по объему или массе количествах.

Управление дозаторами бывает ручное, дистанционное и автоматическое.

Объемные дозаторы по сравнению с весовыми проще, но при дозировании сыпучих материалов менее точны.

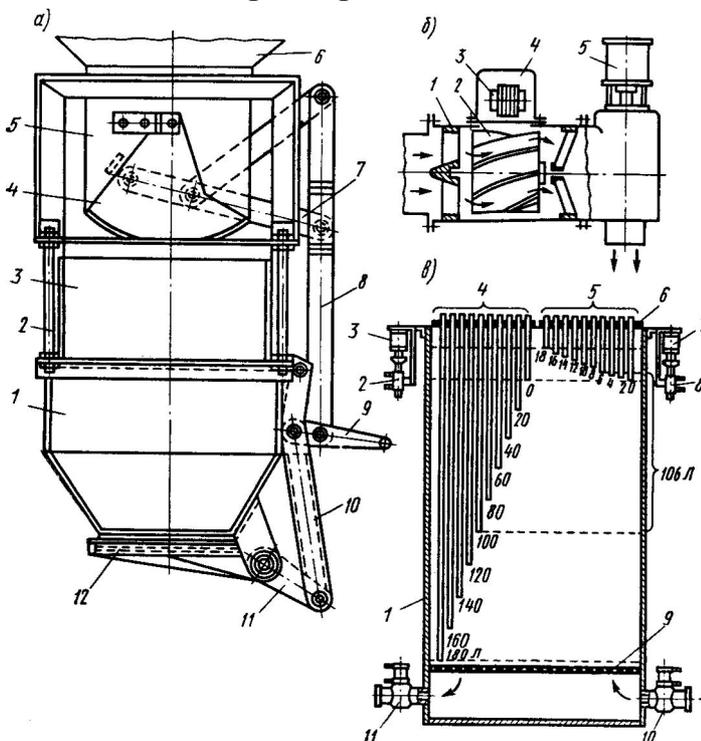
*Объемные дозаторы периодического действия* представляют собой мерные емкости, снабженные специальными устройствами для облегчения загрузки материала и его выгрузки, а также для регулирования размера порции. Простейшим объемным дозатором периодического действия для песка и щебня служит мерный сосуд (рис. 9.13, а), который состоит из емкостей, затворов и рычагов управления. В нижнюю емкость 1 вставлена и закреплена болтами 2 верхняя емкость 3, над которой находится загрузочный секторный затвор 4, перекрывающий патрубок 5 расходного бункера 6. Управляют затвором посредством тяги 7 и рычага 8 при движении рукоятки 9 вверх от среднего положения. Рукоятка, двигаясь от среднего положения вниз, рычагами 10 и 11 открывает разгрузочный клапанный затвор 12. Объем порции регулируют положением верхней емкости относительно нижней.

Объемное дозирование воды и жидких добавок осуществляют автоматическими дозаторами турбинного типа с дистанционным управлением.

Принцип действия автоматического дозатора турбинного типа заключается в том, что поток воды проходит через индукционный датчик (рис. 9.13, б), в корпусе 1 которого вмонтирована крыльчатка 2 водомера. На лопастях крыльчатки, изготовленных из немагнитного материала, укреплен стальная пластинка, воздействующая на магнитную систему 3, находящуюся в стакане 4. Взаимодействие пластинки с магнитом вызывает импульс, улавливаемый прибором пульта. При совпадении числа импульсов с заданным их числом устройство 5 автоматически прекращает подачу жидкости, перекрывая клапан. Число оборотов крыльчатки пропорционально количеству прошедшей через нее воды или жидких добавок, а параметры крыльчатки подобраны так, что каждому импульсу соответствует 1 л жидкости. Переключатели пульта позволяют установить любую дозу от 1 до 400 л с шагом через каждый литр.

Автоматический дозатор для воды и жидких добавок с электродной системой управления обеспечивает дозирование с интервалом в 2 л в пределах от 2 до 198 л. Дозатор (рис. 9.13, в) состоит из цилиндрического бака 1, электровоздушного клапана 2 с электромагнитом 3 управления сливом, десяти длинных электродов 4, десяти коротких электродов 5, электрододержателя 6, электромагнита 7 с электровоздушным клапаном управления наполнением 8, фильтрующей сетки 9, впускного клапана 10 и сливного клапана 11.

### Объемные дозаторы периодического действия



а – для песка и щебня, б, в – для воды и жидких добавок

Рис. 9.13

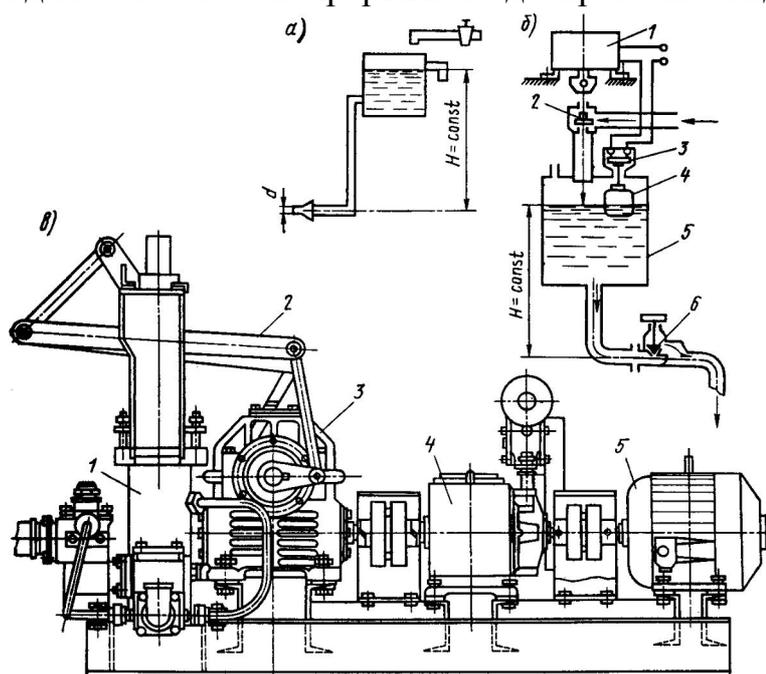
Например, для подачи в смеситель 106 л воды на пульте управления включают (подают низковольтное напряжение) четвертый малый электрод и шестой длинный (считая нулевые электроды первыми) и открывают пневмоцилиндром впускной клапан. Как только уровень воды, поднимаясь, достигнет включенного короткого электрода, цепь замыкается и электромагнит электровоздушного клапана закрывает впускной клапан, высвечивая на пульте сигнал о наполнения бака. При включении сливного клапана уровень опустится до края включенного в цепь длинного электрода и система электровоздушного клапана 2 закроет сливной клапан.

На установках с непрерывным процессом производства объемное дозирование воды осуществляют пробковым краном с калиброванными отверстиями в сочетании с устройствами, обеспечивающими постоянное давление. Такими устройствами могут быть бачки постоянного уровня, центробежные насосы с мембранно-рычажными регулирующими клапанами или плунжерные насосы. Расход воды, вытекающей при определенном давлении из отверстия трубопровода,

зависит от площади отверстия. При изменении напора расход изменяется. Чтобы регулировать расход воды калиброванными отверстиями, необходимо сохранять напор постоянным. Напор зависит от перепада уровней воды от оси сливного отверстия до свободной поверхности.

Простейший бак постоянного уровня (рис. 9.14, а) имеет патрубок, через который сливается избыток воды, при этом количество поступающей в бак воды постоянно должно превышать ее расход. Для сокращения расхода воды постоянный уровень может поддерживать электромагнитный блок 1 (рис. 9.14, б), управляющий клапаном 2 посредством контакта 3 и поплавка 4, расположенного в баке 5. Дросселем 6, изменяя сечение выходного отверстия, регулируют дозирование воды.

#### Дозаторы для объемного непрерывного дозирования жидкостей



а, б – бачками постоянного уровня, в – плунжерным насосом

Рис. 9.14

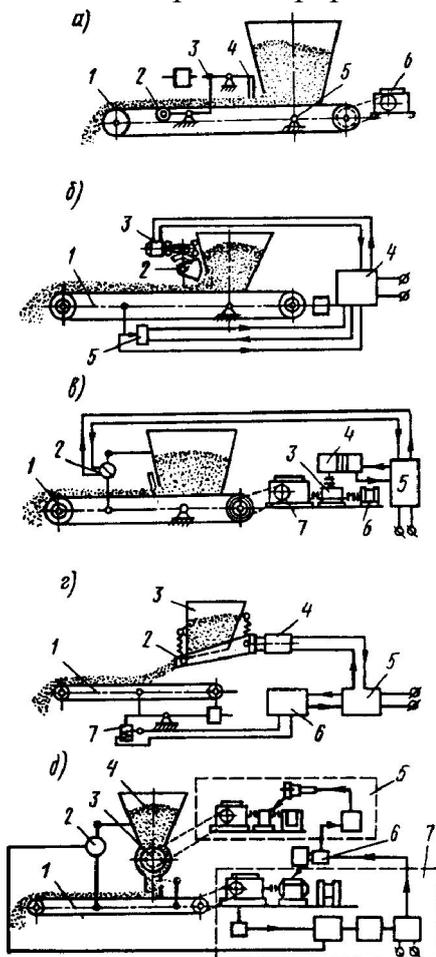
Плунжерный насос-дозатор состоит из сдвоенного плунжерного насоса с цилиндрами 1 (рис. 9.14, в) и рычагами 2, электродвигателя 5, цепного пластинчатого вариатора 4, позволяющего (с пульта) плавно изменять число ходов плунжера от 0,23 до 1,41 в секунду, червячного редуктора 3 с двойным кривошипным валом и станины.

*Весовые дозаторы.* Объемные дозаторы для сыпучих и кусковых материалов не обеспечивают высокой точности дозирования, так как в одном и том же объеме может быть различное весовое количество материала в связи с колебаниями его насыпной массы, неодинаковой плотности укладки частиц при заполнении, колебаний влажности материала.

Весовые дозаторы непрерывного действия бывают одно- и двухагрегатными. По способу регулирования производительности бывают с изменяемым потоком материала, изменяемой скоростью движения ленты, изменяемой интенсивностью подачи материала на ленту и комбинированными.

Одноагрегатный дозатор с изменяемым сечением потока материала и механической связью (рис. 9.15, а) имеет ленточный питатель 1, роликовый датчик 2, рычажную систему 3, заслонку 4, весовую опору 5 рамы питателя, расположенную по оси бункера, и привод 6 ленты питателя. Аналогичный питатель, но с электрической связью датчика и регулятора (рис. 9.15, б) имеет питатель 1, заслонку 2, привод 3, блок 4 усиления сигнала датчика 5. Одноагрегатный дозатор с изменяемой скоростью движения ленты и электронной системой регулирования (рис. 9.15, в) имеет питатель 1, датчик 2, усилитель 5, командоаппарат 4, изменяющий передаточное отношение вариатора 3, расположенного в приводе между двигателем 6 и редуктором 7.

Схемы весовых дозаторов непрерывного действия



а, б, в – одноагрегатных, г, д – двухагрегатных

Рис. 9.15

Двухагрегатный дозатор с изменяемой интенсивностью подачи материала на ленту 1 (рис. 9.15, г) оснащен дополнительным вибрлотковым питателем 2, выдающим материал из бункера 3 при включении электромагнитного вибратора 4. В зависимости от массы материала на ленте датчик 7 посылает сигнал через электронный усилитель 6 в устройство 5, которое изменяет параметры тока электромагнитов вибратора, а, следовательно, амплитуду и производительность вибрлоткового питателя.

Комбинированный двухагрегатный дозатор (рис. 9.15, д) имеет устройство для изменения и автоматического поддержания в заданных пределах скорости движения ленты питателя 1 (через датчик 2 и систему приборов и механизмов 7) и интенсивности подачи материала барабанным питателем 3 из бункера 4 (через синхронизирующее реле 6 и систему приборов и механизмов 5). Одноагрегатные весовые дозаторы проще, однако двухагрегатные обеспечивают большую производительность при сохранении высокой точности дозирования.

## 9.6. Грануляторы

Гранулы (частицы округленной формы) из порошкообразной сырьевой смеси с поперечным сечением  $5\div 20$  мм получают в барабанных или тарельчатых грануляторах. Газопроницаемость слоя порошкообразной смеси невысока, поэтому тепловая обработка пылевидных материалов в печах протекает медленно. Слой гранулированного материала имеет более высокую газопроницаемость, он быстрее нагревается в печи, чем и обусловлено широкое применение грануляторов при подготовке пылевидных сырьевых смесей к обжигу.

От механической прочности и пористости гранул зависят стабильность теплового и аэродинамического режима работы печи и, как следствие, ее производительность.

Барабанный гранулятор по конструкции напоминает собой барабанную сушилку. Он состоит из цилиндрического барабана с двумя бандажами, установленного под углом  $3\div 4^\circ$  к горизонту и вращающегося на двух роликоопорах с частотой  $8\div 12$  об/мин. Привод гранулятора состоит из электродвигателя, редуктора, венцовой и подвенцовой шестерен.

В открытый нижний торец барабана вставлены трубы диаметром  $35\div 40$  мм с отверстиями (по всей их длине) диаметром  $2\div 3$  мм для подачи воды. Сырьевая смесь подается в барабан по лотку с верхнего торца и движется вниз тонким слоем, смачиваясь брызгами воды. При вращении барабана образующиеся гранулы выходят через нижний торец.

Барабанные грануляторы малопродуктивны, при больших габаритах не обеспечивают равномерность гранул, пылят, требуют большого расхода энергии и неудобны в эксплуатации. Поэтому на цементных заводах чаще применяются более совершенные по конструкции и простые в обслуживании тарельчатые грануляторы.

Грануляция материала на тарельчатом грануляторе осуществляется следующим образом. На наклонную вращающуюся тарелку с бортами подается порошкообразная смесь и разбрызгивается вода для увлажнения смеси. Материал поднимается по вращающейся тарелке вверх, сползает и вновь поднимается, двигаясь по криволинейной траектории. При движении увлажненные частицы материала слипаются, увеличиваются в размерах, постепенно упрочняются, округляются и, приобретая большую скорость при очередном скатывании вниз, выпадают за борт тарелки.

Устройство тарельчатого гранулятора диаметром 4,2 м следующее (рис. 9.16). На стойке 1 установлен привод, состоящий из электродвигателя, клиноременной передачи и редуктора 2. На выходном валу редуктора закреплена коническая шестерня, находящаяся в зацеплении с коническим колесом,

смонтированным на днище 3 тарелки. Редуктор позволяет изменять угол наклона днища гранулятора от 35 до 60°.

Тарельчатый гранулятор

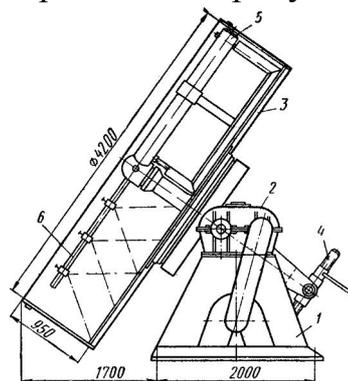


Рис. 9.16

Днище и борта тарелки очищаются ножами, установленными на скребковом кронштейне 5. Вода для смачивания сырьевой смеси, подается по двум трубам 6 с отверстиями. Настройку гранулятора на получение требуемых гранул осуществляют путем установки угла наклона чаши с помощью винтовой пары 4, высоты борта и выбором места подачи материала и воды.

## 10. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА И ГАЗА ОТ ПЫЛИ

Наибольшее распространение получили следующие способы очистки воздуха и газов от пыли: выделением частиц пыли под действием силы тяжести и центробежных сил, фильтрованием, осаждением на электродах, мокрой очисткой.

### 10.1. Аппараты сухой очистки воздуха и газов

Пылеосадительные камеры, аспирационные шахты и циклоны представляют собой аппараты грубой очистки газов и их используют для предварительного обеспыливания при высокой концентрации пыли. Электрофильтры и рукавные фильтры являются аппаратами тонкого, окончательного обеспыливания.

Эффективность пылеулавливающего оборудования оценивается КПД



где  $Q_{вх}$  – количество пыли во входящем в пылеуловитель газе, г/м<sup>3</sup>;

$Q_{очищ}$  – количество пыли в газе после пылеуловителя, г/м<sup>3</sup>.

Для достижения более высокой степени обеспыливания газов с повышенным содержанием пыли последовательно устанавливают несколько пылеуловителей, например, циклон и рукавный фильтр. В таких случаях суммарный КПД пылеулавливающей системы определяется следующим образом:



где  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  – соответственно КПД каждого пылеуловителя.

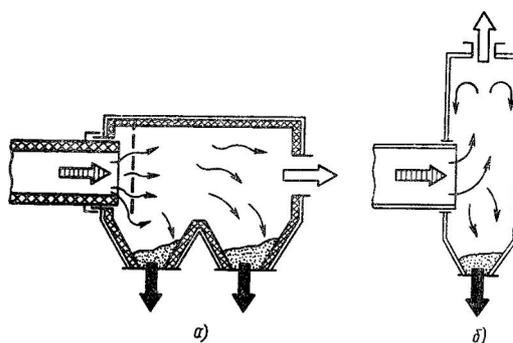
При расчетах пылеулавливающей системы эффективность обеспыливания пылесадительных камер и аспирационных шахт не учитывают.

Таблица 10.1

Характеристика пылеулавливающего оборудования

Пылеуловители – область применения	Запыленность газов, г/м <sup>3</sup>		Температура °С, не более	Скорость газов, м/с	КПД	Наименьший размер улавливающих частиц, мкм	Гидравлическое сопротивление, Па
	на входе	на выходе					
Пылесадительные камеры – вращающиеся печи, сушильные барабаны, сырьевые мельницы с одновременной сушкой	не ограничена	–	100		0,1÷0,15	30	30÷50
Аспирационные шахты – цементные мельницы, дробильные установки	до 1000	20÷50	200	1÷1,5	0,5÷0,9	10	250÷500
Циклоны – мельницы, сушильные барабаны, вращающиеся печи, колосниковые охладители, конвейеры	до 1000	20÷50	400	2,5÷4,5	0,5÷0,9	5	600÷1450
Рукавные фильтры:							
с рукавами из натуральных и синтетических волокон – силосы, цементные мельницы, дробилки, упаковочные машины	20÷100	0,1÷0,5	150	0,6÷0,8	0,98÷0,99	0,5	1200÷1800
с рукавами из стекловолнока – вращающиеся печи, сушильные барабаны, сырьевые мельницы с одновременной сушкой, колосниковые охладители	20÷100	0,1÷0,5	300	0,6÷0,8	0,98÷0,99	0,5	1200÷1800
Электрофильтры – вращающиеся печи, сушильные барабаны, сырьевые мельницы с одновременной сушкой, колосниковые охладители	10÷20	0,1÷1	250	0,1÷0,8	0,99	0,5	100÷400

Работа пылесадительных камер (рис. 10.1, а) и шахтных аспирационных коробок (рис. 10.1, б) основана на том, что частицы пыли, находящиеся в газовом потоке или аспирационном воздухе, попадая в полость камеры большого сечения значительно теряют свою скорость и наиболее крупные из них осаждаются в нижней части, откуда их периодически удаляют.



а – пылесадительная камера; б – аспирационная шахта

Рис. 10.1

Основным элементом рукавных фильтров являются цилиндрические длинные рукава из специальных фильтрованных тканей: при температуре очищаемых газов до 140°С из лавсана и при температуре от 140°С до 300°С – из стеклоткани. Запыленный газовый поток подается в рукава, очищается в результате налипания частиц пыли на стенках рукавов при прохождении газа под разрежением

или давлением через ткань. Через определенные промежутки времени рукава очищают (регенерируют) встряхиванием, обратной продувкой воздухом или обоими способами одновременно.

Фильтры (рис. 10.2) состоят из герметичного корпуса, разделенного перегородкой на две камеры. Фильтровальные рукава 3, открытые сверху и снизу, размещены в обоих изолированных камерах корпуса 10. Каждая камера может сообщаться через воздушную рубашку бункера 4 с помощью клапана 5 с коллектором 9 продувочного воздуха или с коллектором 8 обеспыленных газов. Внутренние полости рукавов сообщаются с бункером, верхней частью корпуса 11 и коллекторами 1. Рукава имеют индивидуальные устройства для их подвески и натяжения.

В режиме очистки запыленные газы поступают во внутреннюю полость рукавов 3 через коллекторы 1 и верхнюю часть корпуса 11 под действием разрежения, создаваемого вентилятором в рукавном пространстве корпуса 10 (через коллекторы 8, корпус клапана 5 и воздушную рубашку бункера 4). Проникая через поры фильтровальной ткани, газы выбрасываются в атмосферу, а пыль задерживается волокнами ткани. По мере осаждения пыли на ткани и заполнения ее пор степень очистки быстро повышается и в момент образования сплошного слоя улавливание пыли становится практически полным. Однако с увеличением толщины пылевого слоя повышается сопротивление движению газа через рукава, что ведет к уменьшению его производительности. Поэтому через определенные промежутки времени автоматически очищают ткани рукавов.

В фильтрах типа РП (рис. 10.2, а) очищение (регенерацию) осуществляют методом обратной покамерной продувки рукавов. Клапаном 5 разобщают зарукавное пространство корпуса 10 с коллектором 8 и одновременно открывают доступ в зарукавное пространство продувочного воздуха из коллектора 9. Продувочный воздух проходит через ткань и пылевой слой в направлении, обратном потоку обеспыливаемых газов. В результате этого происходит встряхивание рукавов и разрушение пылевого слоя. После этого клапан автоматически возвращается в исходное положение, а на регенерацию отключается вторая камера. Осыпавшаяся при регенерации пыль попадает в бункер 4 и ее удаляют через герметичный затвор 7.

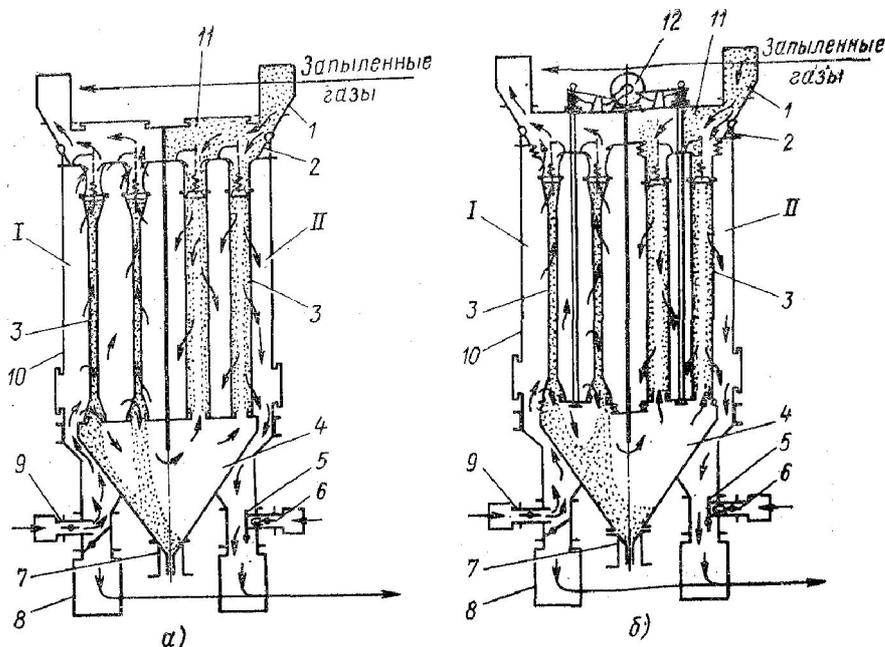
В фильтрах типа РВ (рис. 10.2, б) рукава в каждой камере установлены между плитами подвижных рам, которые могут подниматься с помощью механизма встряхивания 12 на регулируемую высоту и затем свободно падать на амортизаторы. В нижней части бункера установлен затвор 7. При необходимости каждую камеру можно выключить из работы, закрыв клапана 5, заслонки 2 и шиберы 6. Клапаны 5 приводятся в действие пневмоцилиндрами.

В фильтрах типа РВ использован комбинированный способ регенерации, когда обратную продувку сочетают с механическим встряхиванием рукавов. Подвижная рама, на которой закреплены фильтровальные рукава, с помощью механизма 12 встряхивания поднимается на высоту 10÷40 мм и затем с ускорением падает на амортизаторы. Возникающие в результате удара силы инерции способствуют дополнительному удалению пыли с рукавов. Частота встряхивания рукавов около 25 ударов в минуту.

Рассмотренные схемы рукавных фильтров предназначены для очистки запыленного воздуха при производстве вяжущих строительных материалов.

Промышленность выпускает также рукавные фильтры, отличающиеся от фильтров типа РП и РВ нижней подачей в рукава запыленного воздуха, импульсной продувкой рукавов сжатым воздухом, размещением в рукавах жесткого металлического каркаса (жесткокаркасные рукава) и некоторыми другими особенностями.

### Схемы фильтров



*а* – с обратной продувкой рукавов (тип РП); *б* – с обратной продувкой и встряхиванием рукавов (тип РВ); *I* – камера в режиме регенерации; *II* – камера в режиме фильтрации

Рис. 10.2

Основными параметрами, определяющими выбор рукавных фильтров, являются запыленность, объем и температура очищаемого воздуха.

В зависимости от необходимой производительности фильтры могут собирать в группы, состоящие из нескольких последовательно установленных фильтров одного габарита с общими коллекторами подвода запыленного и отвода обеспыленного воздуха, подвода воздуха от вентилятора для регенерации рукавов, общего шнекового транспортера уборки из-под бункеров собранной в фильтрах пыли.

Для обеспечения надежной работы рукавов в фильтре не допускается конденсация паров, содержащихся в подводящих запыленных холодных газах, что приводит к «цементации» пыли на влажной поверхности ткани. Для исключения этого явления при недостаточной температуре влажных газов перед подачей в рукавный фильтр предусматривают их предварительный подогрев, а также производят теплоизоляцию корпуса и газоходов. Аналогичные требования предъявляются и к продувочному воздуху.

Основные размеры рукавного фильтра определяют в зависимости от рабочего объема газа, подлежащего обеспыливанию, с учетом подсоса атмосферного

воздуха (35÷50%) в тракте от технологического оборудования до фильтра, а также объема продувочного воздуха, расходуемого на регенерацию рукавов.

Общий объем газов, проходящих через рукава фильтра (в м<sup>3</sup>/ч)

$$V_{\Gamma} = (1,35 \div 1,5)V_T + V_P,$$

где  $V_T$  – объем технологических газов, подлежащих обеспыливанию, м<sup>3</sup>/ч;

$V_P$  – объем воздуха, поступающего для регенерации рукавов, м<sup>3</sup>/ч, принимают  $V_P = 0,25V_T$ .

Необходимая фильтрующая площадь рукавов (в м<sup>2</sup>)

$$F_{\Phi} = V_{\Gamma} / (60 \cdot \omega_{\Phi}) + F_P,$$

где  $\omega_{\Phi}$  — допускаемая скорость фильтрации газа через материал рукавов, м/мин;

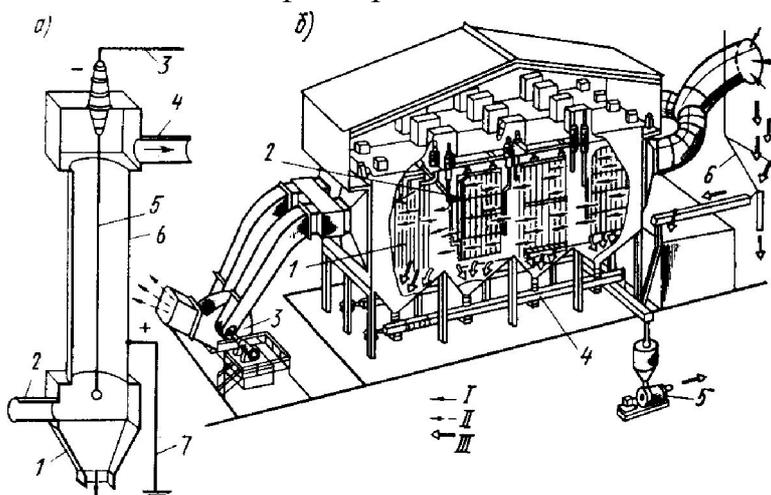
$F_P$  — площадь фильтра, выключаемого на регенерацию в течение часа, м<sup>3</sup>;

$F_P$  обычно принимают равной площади рукавов одной секции фильтра.

Электрофильтры являются более совершенными и универсальными фильтрующими устройствами, обеспечивающими степень очистки с коэффициентом 99...99,5% при весьма незначительном сопротивлении движению газов и сравнительно высокой его температуре (до 500°С). Электрофильтры могут иметь трубчатые или пластинчатые осадительные элементы.

Принцип действия трубчатого электрофильтра заключается в следующем. Если к двум изолированным электродам, например вертикальной трубе 6 (рис. 10.3, а) и расположенной по ее оси проволоке 5, подвести по проводам 3 и 7 постоянный ток высокого напряжения (от 35 до 70 тыс. В), то вокруг проволоки образуется коронный разряд, воздух между электродами ионизируется, его молекулы распадаются на положительно и отрицательно заряженные ионы. Если через патрубок 2 в трубу подают запыленный газ, частицы пыли под действием отрицательно заряженных ионов приобретают отрицательный заряд и осаждаются на стенках трубы, выпадая из газового потока и собираясь в камере 1. Очищенный газ выходит через патрубок 4. Диаметр труб 200...300 мм при длине 3...4 м. Трубчатые осадительные элементы собирают в секции и батареи, что обеспечивает необходимую производительность.

Схемы фильтров для газоочистки



а – электрофильтр трубчатый; б – электрофильтр горизонтальный  
(I – запыленные газы печи; II – газы, очищенные от пыли; III – пыль)

Пластинчатые электрофильтры в качестве осадительных элементов имеют положительно заряженные пластины 1 (рис. 10.3, б), между которыми натянуты коронирующие проволочные электроды 2. Газы, например, из вращающейся печи попадают в осадительную камеру б, теряют в ней наиболее крупные частицы пыли, по трубе поступают в электрофильтр, проходят между пластинами, очищаются от пыли и дымососом 3 направляются в дымовую трубу, а пыль винтовым конвейером 4 и пневмонасосом 5 возвращается в печь. Скорость газа между пластинами электрофильтра достигает 2 м/с. Производительность наиболее крупных четырехпольных электрофильтров достигает 360 тыс. м<sup>3</sup>/ч при запыленности газа на входе 30 г/м<sup>3</sup> и степени очистки 98%.

Определение эффективности пылеулавливания в данных фильтрах связано со сложными инженерными расчетами, с учетом практических результатов их эксплуатации в конкретных условиях. Поэтому в большинстве случаев выбор серийных типоразмеров электрофильтров связан с определением необходимой площади  $F$ , м<sup>2</sup>, его активного сечения

$$F = V_{\Gamma} / 3600 \cdot v$$

где  $V_{\Gamma}$  — объем запыленных газов, проходящих через фильтр за 1 ч, м<sup>3</sup>/ч;  
 $v$  — оптимальная скорость прохождения газов через фильтр, м/с.

Скорость прохождения газов через электрофильтры печей сухого способа с кондиционированием отходящих газов  $v = 0,64 \div 0,8$  м/с, печей мокрого способа  $v = 0,64 \div 0,9$  м/с, клинкерных охладителей при увлажнении аспирационного воздуха  $v = 0,84 \div 1$  м/с, сушильных барабанов (на II ступени очистки)  $v = 0,84 \div 1$  м/с, цементных мельниц  $v = 0,74 \div 0,8$  м/с. При выборе электрофильтра учитывают увеличение объема проходящих газов на 15% в результате подсоса атмосферного воздуха через неплотности корпуса.

## 10.2. Аппараты мокрой очистки воздуха и газов

К аппаратам мокрой очистки газов относятся противоточный скруббер, пенный пылеуловитель, циклон ЛИОТ, механический скруббер с вращающимися дисками и др.

Противоточный скруббер (рис. 10.4) работает следующим образом.

Загрязненный газ по вводу патрубку б поступает в нижнюю зону корпуса 1, футерованного керамической плиткой 2. В верхнюю зону скруббера через специальные отверстия 3 подается вода. В корпусе установлены насадки 5 в виде реек. Верхняя насадка равномерно распределяет воду по сечению корпуса, средняя служит для улавливания пыли, а нижняя распределяет поток входящего газа. Газ вводится в скруббер со скоростью 18÷20 м/с по касательной к корпусу. Крупные частицы центробежными силами инерции отбрасываются к стенкам, смачиваются водой и в виде пленкообразной массы стекают вниз в сборник 7. Окончательно частицы улавливаются водой при прохождении потока газа через водяную завесу, образованную по всему сечению скруббера.

Во избежание выноса воды в сборник 4 скорость движения газа в корпусе скруббера не должна превышать 6 м/с. Степень очистки в таком скруббере составляет 95÷98%.

## Противоточный скруббер

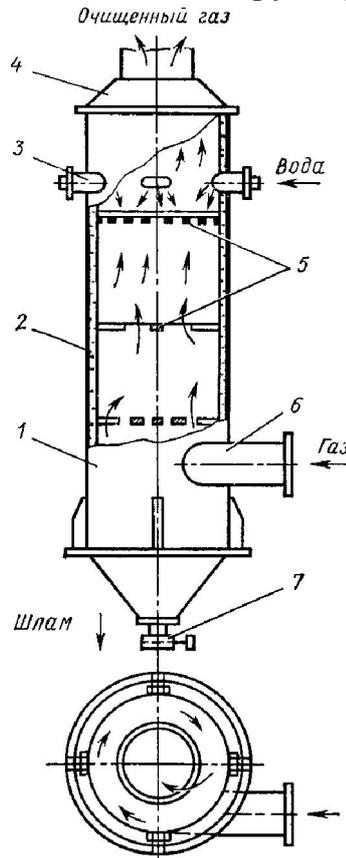


Рис. 10.4

Пенный пылеуловитель (рис. 10.5) состоит из корпуса 1, разделенного по высоте решеткой 2. Вода по патрубку подается в приемную коробку 3, а из нее на верхнюю часть решетки. Высота слоя воды на решетке определяется порогом 4 и принимается равной  $20 \div 30$  мм. Запыленный газ подается в нижнюю часть корпуса и движется вверх через решетку навстречу струям воды. В результате такого движения при определенных скоростях движения газа на решетке образуется слой пены высотой  $80 \div 100$  мм, в котором задерживаются частицы пыли. Очищенный газ через верхнюю часть скруббера отводится в атмосферу. Частицы пыли, образующие с водой шлам, отводятся через сливную коробку 5 и частично через отверстия решетки в сборник 6. В пылеуловителе обычно установлены дырчатые решетки с отверстиями диаметром  $3 \div 8$  мм и живым сечением  $15 \div 25\%$ . Скорость газов в свободном пространстве аппаратов  $1 \div 3$  м/с. Расход воды на орошение аппарата составляет  $0,2 \div 0,3$  кг на  $1 \text{ м}^3$  газа.

В пенном аппарате обычно происходит некоторая утечка жидкости через отверстия решетки. Объем утечки определяется главным образом скоростью газов в отверстиях решетки, уменьшаясь пропорционально квадрату скорости. В частности, при скорости  $6 \div 10$  м/с утечка незначительна, а при скорости  $10 \div 17$  м/с полностью прекращается. Для предотвращения образования отложений пыли в решетке пенные пылеуловители работают с некоторой утечкой жидкости через отверстия, т. е. при скорости газа  $6 \div 10$  м/с.

Корпус 1 (рис. 10.6) циклона ЛИОТ состоит из цилиндрической и конической обечаек. По внутренней поверхности стенки циклона непрерывно стекает вода,

которую вводят в аппарат через устройство 3, состоящее из нескольких трубок. Запыленный воздух подводится через патрубок 4, вмонтированный тангенциально к цилиндру. Очищенный воздух отводится через патрубок 2, вмонтированный по ходу вращения воздушного потока. Расход воды на орошение циклона составляет  $0,13 \div 0,3$  л на 1 кг воздуха.

### Пенный пылеуловитель

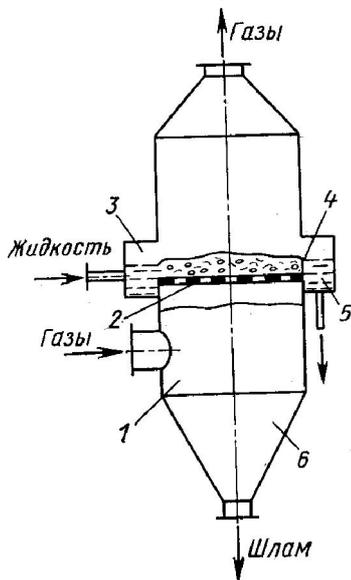


Рис. 10.5

В этом пылеуловителе более высокая эффективность процесса очистки по сравнению с обычным циклоном обусловлена использованием водяной пленки.

### Циклон ЛИОТ с водяной пленкой

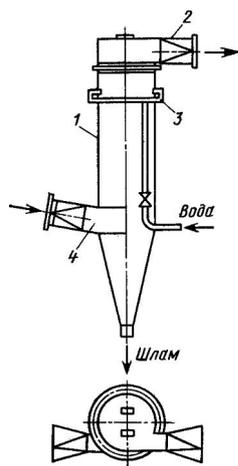
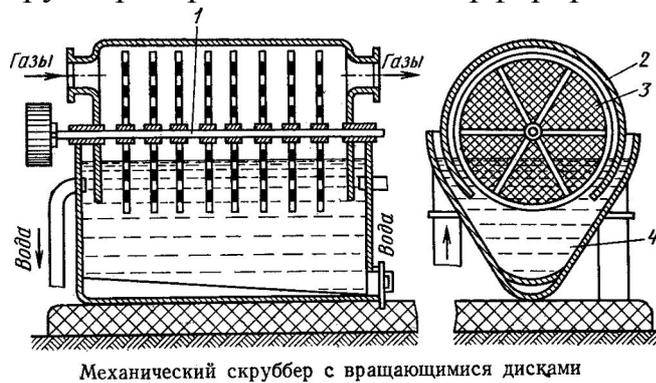


Рис. 10.6

Механический скруббер с вращающимися перфорированными дисками (рис. 10.7) состоит из ванны 4 и кожуха 2, в котором вращается горизонтальный вал 1. На вал насажены диски 3, частично погруженные в ванну с водой.

## Механический скруббер с вращающимися перфорированными дисками



Механический скруббер с вращающимися дисками

Рис. 10.7

Скруббер работает следующим образом. При вращении вала вода увлекается дисками, смачивает их поверхность и разбрызгивается в виде мелких капель на пути движения очищаемых газов. Содержащаяся в газах пыль осаждается вместе с водой в ванну и частично на диски, с которых смывается водой.

## 11. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ.

### 11.1. Теоретические основы процесса перемешивания

Процесс перемешивания осуществляют:

- 1) для создания оптимальной поверхности реагирующих веществ;
- 2) для изменения физического состояния вещества (растворения, кристаллизации и т.п.);
- 3) для ускорения химических реакций и теплопередачи;
- 4) для получения суспензий, эмульсий, паст.

По способу перемешивания смесительные машины можно разделить на механические, газовые и комбинированные. В зависимости от режима работы различают смесительные машины периодического и непрерывного действия.

По технологическому назначению в зависимости от физического состояния перемешиваемых веществ смесительные машины разделяют на:

1) машины для перемешивания жидких смесей (шлама, шликера, глазури, красителей и т.п.): крановые, шламовые, пропеллерные, турбинные, планетарные и другие смесители.

2) машины для перемешивания сухих порошковых и зернистых материалов с последующим увлажнением или без него: барабанные, лопастные и другие смесители;

3) машины для приготовления грубодисперсных суспензий (бетонных смесей, строительных растворов, керамических и других масс) по способу перемешивания подразделяются на лопастные и гравитационные.

Машины, в которых перемешивание осуществляется при помощи лопастей и газовых потоков, называются смесителями принудительного действия, а в которых материал перемешивается во вращающемся барабане в результате подъема и падения массы – гравитационными.

Основными характеристиками перемешивающих устройств, являющихся сравнительными показателями их работы, считаются эффективность и интенсивность их действия.

Интенсивность характеризует качество процесса перемешивания (степень гомогенизации массы), а интенсивность определяется временем достижения заданного технологического результата.

## 11.2. Конструкции смесителей

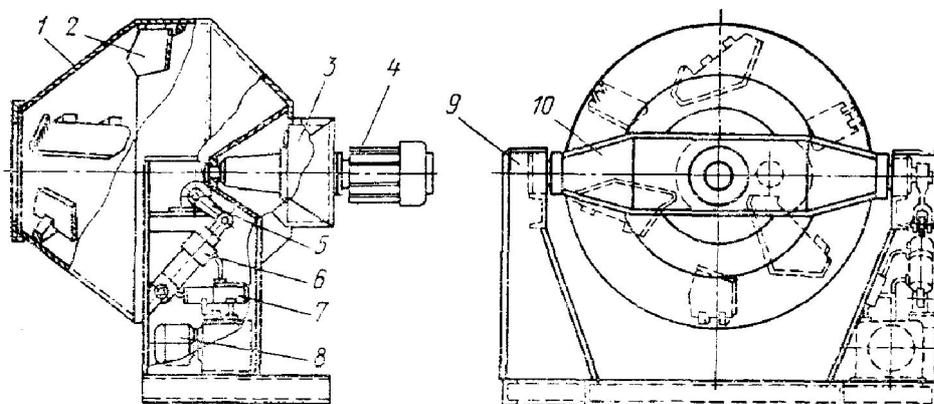
### 11.2.1. Гравитационные смесители

Перемешивание компонентов в гравитационных смесителях происходит в барабанах, к внутренним стенкам которых прикреплены лопасти. При вращении барабана смесь лопастями поднимается на некоторую высоту и затем сбрасывается вниз. Для обеспечения однородности смеси необходимо 30÷40 циклов подъема и сброса смеси в барабане.

Для обеспечения свободного перемещения смеси в барабане его объем в 2,5÷3 раза должен превышать объем смеси. Скорость вращения барабана невысокая, так как в противном случае центробежные силы инерции будут препятствовать свободному перемещению смеси.

Бетоносмесители изготавливают с наклоняющимися и стационарными барабанами грушевидной, конусной или цилиндрической формы.

Гравитационный бетоносмеситель непрерывного действия



- 1 – барабан; 2 – лопасть; 3 – редуктор; 4 – электродвигатель; 5 – рычаг;  
6 – гидроцилиндр; 7 – распределитель; 8 – насосная станция; 9 – рама;  
10 – траверса

Рис. 11.1

Гравитационный смеситель непрерывного действия содержит барабан 1, в котором установлено несколько лопастей 2. Барабан смонтирован на выходном валу редуктора 3, встроенного в траверсу 10 и получающем вращение от электродвигателя 4. Траверса установлена в подшипниках на стойках рамы 9 и при помощи пневмоцилиндра 6 и рычага 5 может занимать разные положения, в

результате чего барабан может занимать следующие положения: на загрузку, перемешивание и выгрузку. Смеситель имеет индивидуальный пневмопривод, состоящий из насосной станции 8 и распределителя 7 с электроуправлением.

### 11.2.2. Смесители принудительного действия

К ним относятся смесители роторного типа (рис. 11.2), в которых материалы перемешиваются лопастями 2 в кольцевом пространстве, образованном корпусом смесителя 1 и внутренней оболочкой 10.

Сменные лопасти 12, закрепленные на кронштейнах 13, перемещаются при вращении ротора 9 от мотор-редуктора 6 через зубчатую пару 5.

Загрузка компонентов производится через воронку 3, а выгрузка готовой смеси через затвор 8, управляемый пневмоцилиндром 7. Лопасти крепятся к ротору при помощи амортизирующего устройства, состоящего из пружины 14 и рычага 15.

Такое устройство предотвращает поломки лопастей при заклинивании в результате попадания твердых частиц материала (гравия, щебня) в зазор между дном смесителя и нижним краем лопасти. Положение лопастей регулируется винтом 16. Вода подается в смеситель по кольцевой перфорированной трубке 4. Дно и боковые стенки смесительной камеры облицованы сменными износостойкими плитами 11.

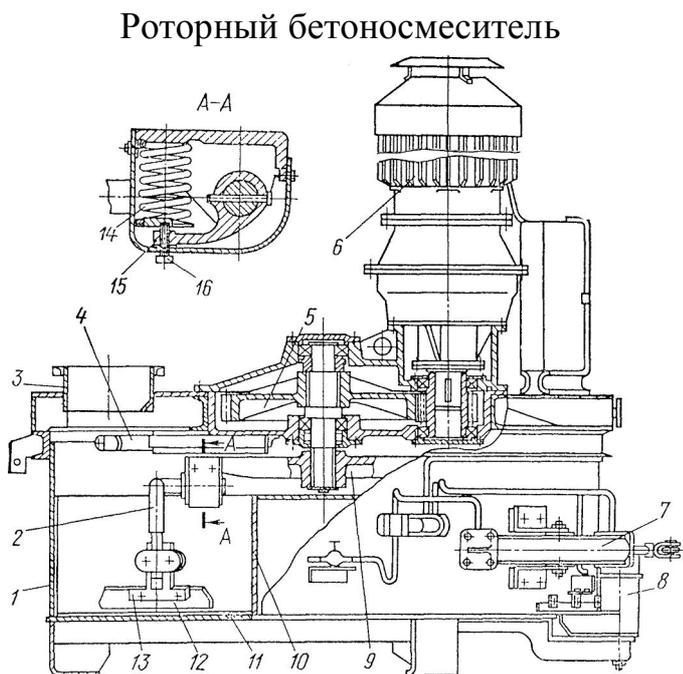
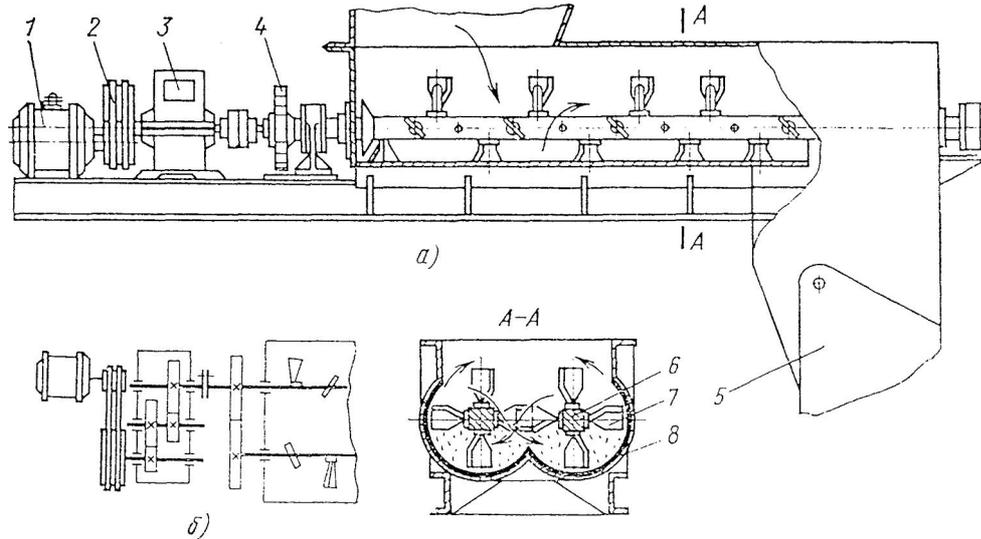


Рис. 11.2

Также широкое распространение получили горизонтальные двухвальные смесители (рис. 11.3). Их принцип работы следующий. Компоненты смеси непрерывным потоком подаются соответствующими дозаторами в корыто смесителя 8, в котором вращаются в разные стороны два вала 6 с закрепленными на них лопастями 7. Лопасти установлены под определенными углами, так чтобы смесь интенсивно перемешивалась в радиальном направлении и постепенно передвигалась к разгрузочному затвору 5.

### Двухвальный смеситель непрерывного действия



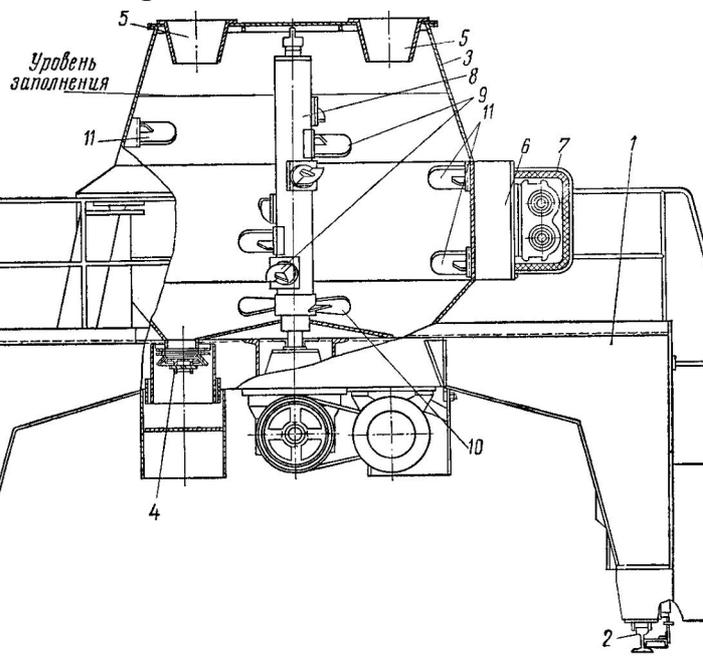
*a* – общий вид; *б* – схема привода валов

Рис. 11.3

Лопастные валы приводятся во вращение от электродвигателя 1 через ременную передачу 2, редуктор 3 и зубчатые колеса 4. На каждом валу устанавливается 30-60 лопастей под углом 40-45°.

Для приготовления ячеистой массы в производстве газосиликатных изделий используется виброгазобетонешалка (рис. 11.4).

### Виброгазобетонешалка



1 – корпус; 2 – лопастной вал; 3 – окно для установки вибропоршня; 4 – уплотнение; 5 – горловина; 6 – гаситель; 7 – вибропоршень

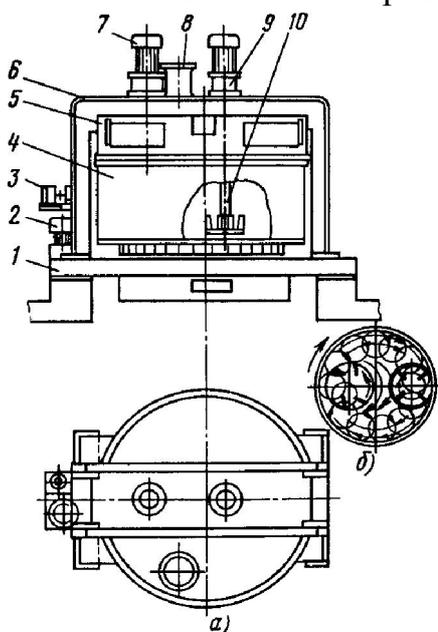
Рис. 11.4

Она представляет собой самоходную установку, состоящую из портала 1, перемещающегося по рельсам 2. На портале закреплен барабан 3, в нижней части которого смонтированы два сливных патрубка с затворами 4. Через воронку 5 осуществляется подача компонентов смеси в корпус, к наружной цилиндрической части которого приварены пояса с ребрами жесткости, образующие замкнутую коробку 6, на которой закреплены вибраторы 7. По оси корпуса установлен приводной вал с закрепленным на нем трубчатым лопастным валом 8. Подвижные лопасти 9 и неподвижные лопасти 11 установлены под углом  $45^\circ$ . В нижней части лопастного вала смонтирована пропеллерная лопасть 10. Лопасти 11 предназначены для интенсификации процесса перемешивания и предотвращения прямолинейного вращения смеси относительно оси корпуса.

Привод лопастного вала включается после поступления на пульт управления сигнала о готовности машины к загрузке. Затем в смеситель подается сначала необходимое количество шлама и воды, а затем вяжущее. С момента подачи вяжущего происходит автоматическое включение вибраторов, а по истечении 1 мин в смесь вводится алюминиевая суспензия. После этого виброгазобетонмешалка при включенном лопастном вале и вибраторах начинает перемещаться в сторону форм и занимает исходное положение над формой. Далее включается привод передвижения портала и открываются затворы 4, благодаря чему виброгазобетонмешалка передвигается над формами и осуществляет их равномерное заполнение. Виброгазобетонмешалка возвращается в исходное положение под загрузку после заполнения ячеистой массой форм.

Для приготовления различных порошковых смесей в сухом виде и с увлажнением могут использоваться смесители с вертикальными лопастными валами (рис. 11.5, а).

#### Универсальный смеситель со сменными рабочими органами



а – схема смесителя; б – схема движения смеси

Рис. 11.5

Смеситель содержит барабан 4, установленный на раме 1, приводимый во вращение индивидуальным приводом 2 и закрытый герметической крышкой 5. На траверсе 6 размещены несколько смесительных устройств, состоящих из электродвигателя 7, редуктора 9 и сменных рабочих органов 10. Загрузка смеси осуществляется через воронку 8, а выгрузка – через люк в днище барабана. Затвор люка управляется гидроприводом 3. При вращении барабана и смесительных устройств частицы смеси движутся по сложным траекториям (рис. 11.5, б) и интенсивно перемешиваются.

Для стабилизации технологического процесса и повышения качества продукции, например, при изготовлении силикатных изделий необходимо проводить тщательное усреднение смеси. Наиболее эффективно этот процесс происходит при перемешивании массы, находящейся во взвешенном состоянии. Взвешенное состояние смеси может быть получено механическим способом благодаря подбору соответствующих режимов и траекторий движения рабочих органов или продувкой воздуха через порошок с определенной скоростью. При достижении критической скорости частицы порошка становятся подвижными, приобретая свойства псевдожидкостей. Для разрушения каналов (свищей), которые могут образоваться в порошке и нарушить эффект аэрации; обычно применяют дополнительное механическое воздействие лопастными мешалками. Такие устройства называют пневмомеханическими гомогенизаторами (рис. 11.6).

#### Пневмомеханический гомогенизатор порошковых смесей

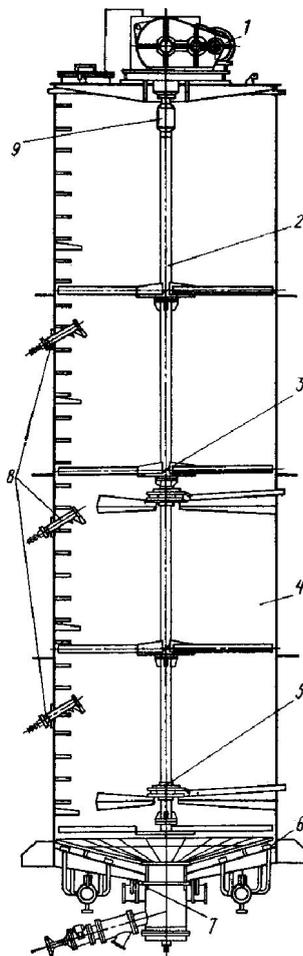


Рис. 11.6

Гомогенизатор представляет собой резервуар 4 диаметром 3 м высотой 10 м, в котором установлен вал 2 с четырьмя ярусами лопастей 3. Вал приводится во вращение приводом 1, состоящим из электродвигателя, редуктора, конической зубчатой пары и шарнирной муфты 9. Для фиксации положения вала в корпусе его составные части установлены в подшипниках 5 с пористыми втулками, в которые подается сжатый воздух, благодаря чему обеспечивается их надежная работа в запыленной среде. Днище корпуса футеровано кассетами 6, представляющими собой распределительные коробки, которые закрыты сверху пористыми диафрагмами из нескольких слоев ткани, покрытых защитными сетками. Снизу в кассеты подается сжатый воздух под давлением около 0,2 МПа, что обеспечивает скорость восходящих потоков  $0,01 \div 0,06$  м/с. Лопастной вал вращается со скоростью  $1,8 \div 2,0$  рад/с, в результате чего разрушаются свищи и обеспечивается устойчивое взвешенное состояние материала. Для повышения эффекта усреднения предусматривается чередование подачи воздуха в кассеты по определенной программе, в результате чего создаются дифференцированные потоки. Готовый продукт выгружается через патрубок 7. Для контроля за процессом усреднения гомогенизатор оборудован тремя пробоотборниками 8. Проба отбирается специальной гильзой, вводимой в резервуар при помощи стержня.

### *11.3. Специальные смесители для приготовления цементного и известкового шламов*

Эти смесители предназначены для перемешивания, доизмельчения и поддержания во взвешенном состоянии в воде частиц глины, мела и других компонентов сырьевой смеси в производстве клинкера. Перемешивание компонентов в этих смесителях производится или механическим способом, или комбинированным – механическими мешалками и сжатым воздухом, подводимым через сопла в зону действия лопастей.

Роторная мельница-мешалка (рис. 11.7) предназначена для приготовления смесей из материалов, имеющих достаточно крупные размеры кусков. Измельчение и перемешивание компонентов производится в корпусе 1, закрытом съемной крышкой 2. Материал поступает по загрузочной воронке 4 в среднюю камеру, где производится его дробление билами 5, установленными на валу 8, приводимом во вращение электродвигателем 9. Измельченные частицы размером менее 30 мм проходят через вращающиеся диафрагмы 6 в смесительные камеры, расположенные по концам корпуса. Здесь материал доизмельчается мешалкой 7, выполненной в виде беличьего колеса, и перемешивается с водой, подаваемой по коллектору 3. Приготовленный шлам проходит через колосниковые решетки 10 в сборный бункер, из которого насосами подается в сырьевую мельницу на доизмельчение.

Принцип работы глиноболтушки (рис. 11.8) следующий. Шлам, находящийся в бассейне 3, перемешивается боронами 1, подвешенными на цепях 2 к траверсе 5, установленной на центральной опоре 9. Траверса приводится во вращение электродвигателем 7 через планетарный редуктор 6. Электроэнергия к двигателю подводится через токосъемник 8. Шламовый бассейн сверху закрыт секционным перекрытием 4. Готовый шлам выводится через отверстие, закрытое решеткой и расположенное в нижней части бассейна.

### Роторная мельница-мешалка

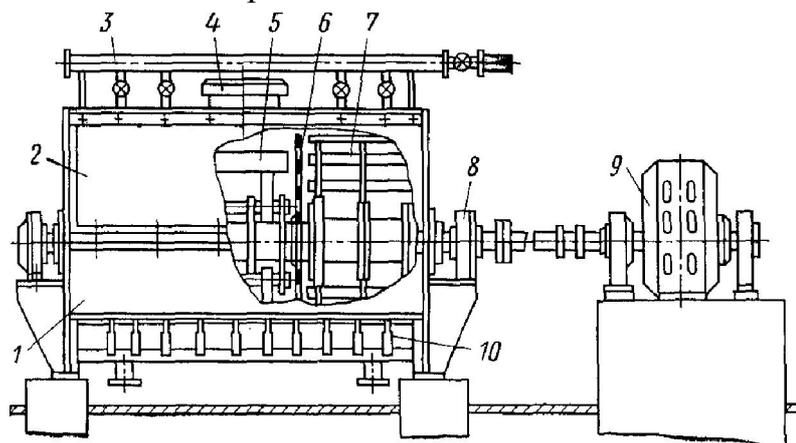


Рис. 11.7

### Смеситель для приготовления шлама

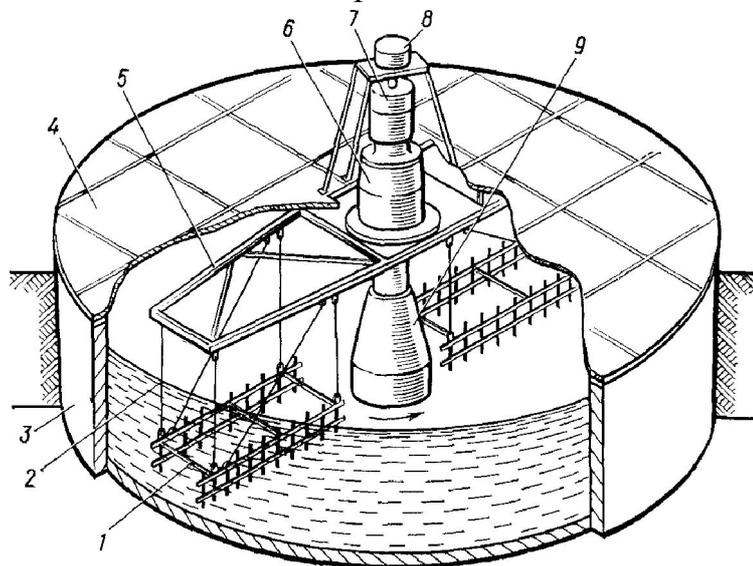


Рис. 11.8

Крановый смеситель предназначен для гомогенизации резервов шлама в шламовых бассейнах (рис. 11.9). Он работает следующим образом. Шлам, находящийся в бассейне 16, перемешивается боронами с шарнирно прикрепленными к ним скребками 1, а также сжатым воздухом, подаваемым по магистрали 9, через коллектор 11 и разводящие трубы 2 к соплам, размещенным на боронах. Смесительный аппарат подвешен к мосту 3, опирающемуся одним концом на центральную опору 14, а вторым – через ходовое колесо 4, приводимое во вращение приводом 5, на кольцевой рельс 15.

Для обеспечения равномерной загрузки привода моста, постепенного и полного удаления осадка смеситель оборудован механизмом 10 изменения положения скребков по высоте. Опускание или подъем скребков происходит автоматически в зависимости от силы тока, питающего двигатель привода моста.

Шлам по трубопроводу 8, расположенному на ферме 7, опирающейся на колонну 6 и центральную стойку, подается в бак 12 и равномерно распределяется через желоб 13 по бассейну.

## Шламовый смеситель с регулируемым положением скребков

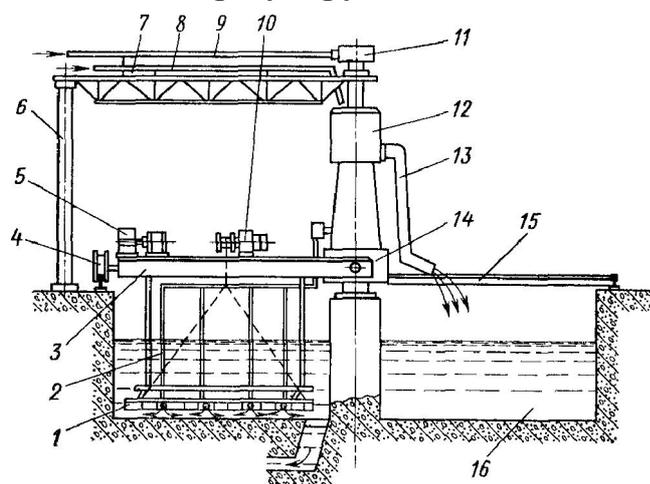


Рис. 11.9

### 11.4. Специальные смесители для приготовления асбестовой и асбестоцементной суспензий

Для распушки асбеста и приготовления асбестоцементной массы применяется голлендор (рис. 11.10), работающий следующим образом. Сначала в ванну 1 через загрузочную воронку 2 подается водно-асбестовая суспензия, которая захватывается лопастями вращающегося барабана 8, протаскивается по зазору между барабаном и ножевой гребенкой 13 и выбрасывается на днище 10 ванны. Отражатель 9 препятствует перемещению массы через ножевой барабан. Далее смесь стекает по наклонному днищу в левую часть ванны и снова поступает под ножевой барабан. Таким образом, происходит циркуляция смеси в ванне, во время которой гребенка и ножи барабана производят распушку асбеста.

### Голлендор для приготовления асбестоцементной массы

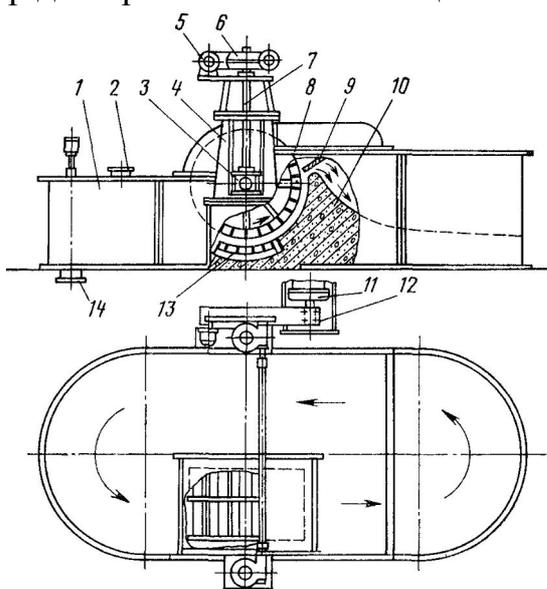


Рис. 11.10

Вал барабана, приводимый во вращение двигателем 11 через клиноременную передачу 12, установлен в подшипниках 3, которые могут перемещаться по вертикальным направляющим 4. Механизм перемещения подшипников состоит из электродвигателя 5 и червячного редуктора 6. На полом выходном валу редуктора имеется гайка, которая при его вращении перемещает винт 7 и соответственно подшипники вала. В период распушки асбеста зазор между гребенкой 13 и барабаном 8 устанавливается равным  $1,5 \div 2,0$  мм. После распушки асбеста подается вода до полного заполнения ванны и порция цемента. Во время перемешивания асбеста с цементом зазор между ножами барабана и гребенки увеличивается до  $5 \div 6$  мм. По окончании перемешивания суспензию подают в ковшовую мешалку через затвор 14 и промывают водой.

Гидрораспушитель турбинного типа (рис. 11.11) представляет собой резервуар 5, в котором вращается пропеллер 4, установленный на валу 3 и приводимый во вращение клиноременной передачей 1 от электродвигателя 2. Сначала в агрегат подается вода, а затем из бегунов асбестовая масса, после чего производится их перемешивание в течение некоторого времени. Затем включается центробежный насос 7, всасывающий суспензию через патрубок 6 и подающий ее по трубам 8 и 11 в насадок 12. Дополнительная распушка асбеста осуществляется при ударе струи суспензии о решетку 13. Циркуляционный режим работы гидрораспушителя продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто нужное качество смеси. Затем пропеллерный смеситель выключается, секторным переключателем 9 перекрывается поток в насадок 12 и открывается магистраль 10, по которой суспензия подается в турбосмеситель для приготовления асбоцементной смеси. Турбосмеситель имеет унифицированную с гидрораспушителем конструкцию и отличается от последнего тем, что у него отсутствует насадок-распушитель.

Гидрораспушитель

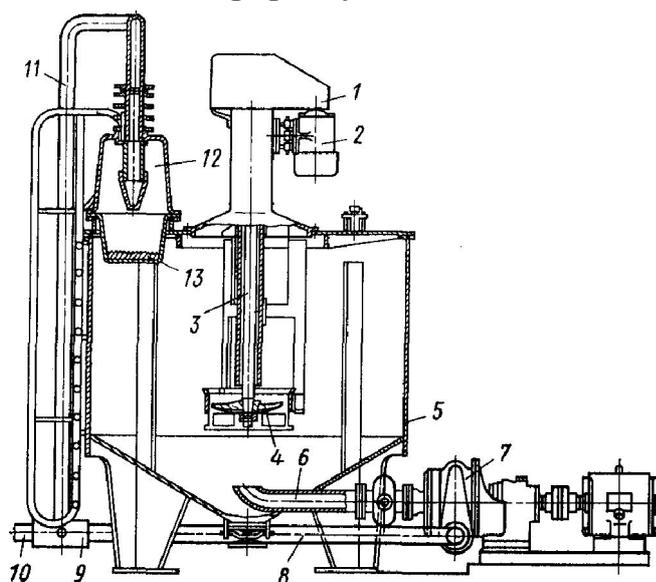


Рис. 11.11

Ковшовый смеситель (рис. 11.12) применяют для промежуточного накопления асбоцементной массы, периодически подаваемой из голлендора,

поддержания частиц смеси во взвешенном состоянии и непрерывного и равномерного питания ею формовочных машин.

### Ковшовой смеситель-питатель

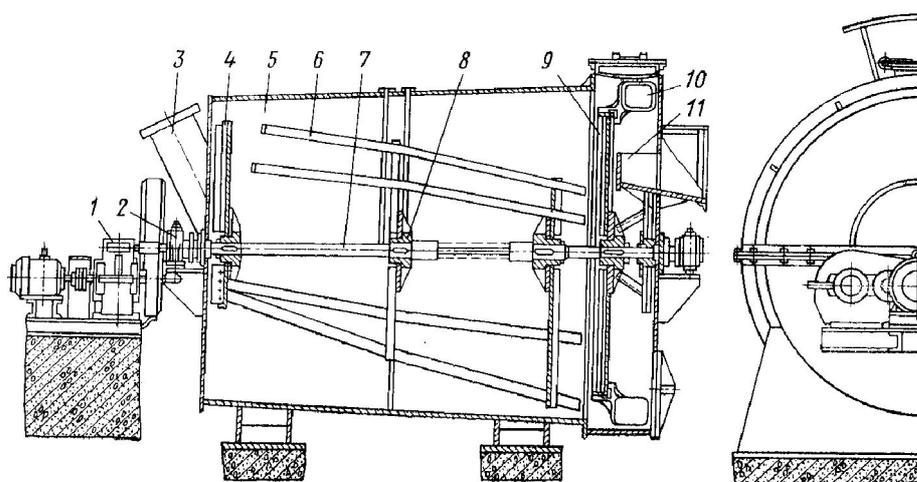


Рис. 11.12

Асбоцементная смесь поступает в корпус смесителя 5 по патрубку 3 и перемешивается лопастями 6, прикрепленными к крестовинам 4. Втулки 8 крестовин 4 посажены на валу 7, установленном в подшипниках 2 и приводимом во вращение приводом 1. В правой части корпуса на валу 7 закреплена ступица 9, на которой размещены ковши 10. При вращении ковшового колеса масса поднимается ковшами и сливается в лоток 11, откуда поступает в формовочные машины.

## 12. СКЛАДСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### 12.1. Шламовые бассейны

Шламовые бассейны предназначены для усреднения и хранения шламов. В зависимости от принятой технологии используют вертикальные или горизонтальные бассейны.

Вертикальные шлам-бассейны (рис. 12.1) представляют собой установленные на колоннах цилиндрические железобетонные или металлические резервуары 4 вместимостью до  $1200 \text{ м}^3$ , нижняя часть которых выполнена в виде конуса. Через задвижку 7 шлам по шламопроводу поступает в приямок 2 и далее транспортируется с помощью насоса 1 в другие бассейны или самотеком в горизонтальный шламовый бассейн для корректирования. Заливку шлама в вертикальный бассейн осуществляют с помощью верхнего шламопровода 5. Перемешивание шлама происходит с помощью сжатого воздуха, подаваемого через центральную трубу 3 диаметром  $100 \div 150 \text{ мм}$ , не доходящую до дна бассейна на  $1 \div 1,5 \text{ м}$ . Воздух, подаваемый под давлением, устремляется вверх, увлекает за собой шлам и бурно перемешивает его. Этим обеспечивается однородность шлама по высоте бассейна. Осевшие в концевой части крупноразмолотые частицы периодически удаляют при очистке бассейна через люки 6. Вертикальные бассейны соединены шламо- и воздухопроводами в единую систему, позволяющую

перекачивать шлам в любую из емкостей. Расход сжатого воздуха под давлением  $0,15 \div 0,2$  МПа на перемешивание шлама составляет  $0,25 \text{ м}^3/\text{мин}$  на  $1 \text{ м}^3$  шлама.

### Вертикальный шламовый бассейн

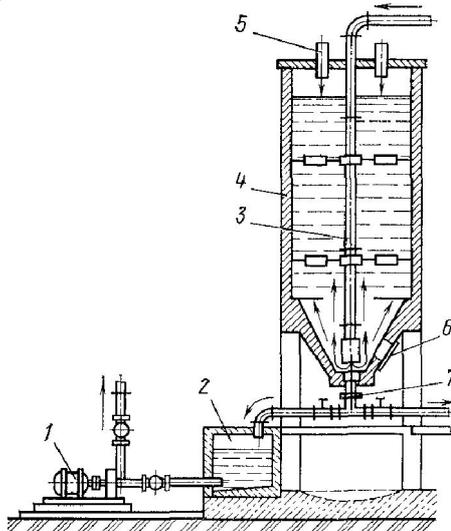


Рис. 12.1

### 12.2. Силосы для гомогенизации и хранения сырьевой муки

Гомогенизация сырьевой муки, т. е. процесс получения ее однородного состава путем корректирования и перемешивания, осуществляется в силосах порционным или непрерывным методом.

Силосы, обычно железобетонные, сооружают диаметром  $12 \div 18$  м, высотой  $12 \div 25$  м одно-, двух- и трехъярусными. Размеры силоса, конструкция применяемых гомогенизирующих устройств и другие параметры, определяются выбранным способом гомогенизации, мощностью сырьевого цеха, а также особенностями принятого технологического процесса.

Гомогенизация сырьевой муки в силосах может осуществляться на следующих этапах:

- при подаче муки в силос с помощью специальных устройств, интенсивно перемешивающих муку;
- непосредственно в силосе путем подачи в аэрокассеты, расположенные на дне силоса, воздуха под определенным давлением;
- при выгрузке муки из силоса разгрузочными устройствами, интенсивно перемешивающими материал.

При гомогенизации непосредственно в силосе в качестве основного аэрирующего элемента применяют аэрокассеты различных конструкций. Аэрокассета (аэрокоробка) (рис. 12.2) состоит из металлического корпуса 1 и микропористой плитки 2. В корпусе выполнены отверстия для крепления аэрокассеты. Воздух под давлением подают через специальное отверстие в корпусе под плитку. Микропористые плитки изготавливают из керамики, порошковых материалов, текстиля и др. Находят применение аэрокассеты, изготовленные целиком из пористых материалов, без металлического корпуса. Такие кассеты укладывают непосредственно в бетон.



Рис. 12.2

С помощью различных вариантов укладки аэрокассет получают следующие способы аэрирования: гейзерный, квадрантный и др.

При квадрантном способе аэрокассеты, уложенные на днище силоса (55÷60% его площади), образуют четыре секции (квадранта) с индивидуальным подводом сжатого воздуха. Каждая секция поочередно (по 15 мин) работает с усиленной аэрацией, когда к ней подводится 75%, а к остальным трем 25% общего количества подаваемого сжатого воздуха. В активной секции материал приходит в подвижное (ожиженное) состояние, под действием мельчайших струек воздуха из аэрокассет поднимается вверх и «переливается» в соседние секции. Поскольку там материал менее подвижен, он стремится переместиться вниз. В результате в вертикальных сечениях силоса происходят интенсивная циркуляция и перемешивание материала. Общая продолжительность перемешивания муки в одном силосе составляет около 1 ч. При этом затраты воздуха  $12 \text{ м}^3/\text{мин}$  под давлением 0,2 МПа и электроэнергии 2,7 МДж на 1 т муки.

При гейзерном способе аэрокассеты образуют в днище силоса (25% общей площади) пять концентрических секций с индивидуальным подводом сжатого воздуха. Сначала все секции аэрируются под одинаковым давлением. Когда сырьевая мука приобретает подвижность, секции переключаются на работу по разным режимам: три нечетные (счет идет от наружного кольца) – под давлением 0,14 МПа, две четные – под давлением 0,11 МПа. Через каждые 5÷10 мин режимы в секциях меняют. Гейзерный способ обеспечивает полную гомогенизацию смеси в силосе за 20 мин. При этом затраты воздуха  $20 \text{ м}^3/\text{мин}$  и электроэнергии до 1,8 МДж на 1 т сырьевой муки.

Скорость перемешивания и ее длительность, зависят от объема использованного воздуха. Чем он больше, тем меньше время перемешивания. Однако объем воздуха не должен быть слишком большим, так как при этом может повыситься летучесть материала и значительная его часть будет уноситься в фильтры.

Применяется и менее энергоемкий способ, основанный на принципе «течение в воронке» (гравитационный способ). Процесс осуществляется в обычных двухъярусных силосах. Сырьевая мука укладывается в силосе слоями так, чтобы каждый слой соответствовал одной средней пробе. Материал подается в силос порциями через воронкообразное отверстие, и слои разного химического состава накладываются друг на друга «крышами», как при усреднении сырья на грядах. Гомогенизация происходит при выгрузке материала из силоса в результате образования воронки, чему способствует днище специальной конструкции. Слабо насыщенная воздухом сырьевая мука вытекает из силоса, образуя коническую воронку, при этом верхние слои увлекают за собой часть нижних, что обеспечивает эффективность смешивания. Сжатый воздух подается только для окончательной выгрузки. При этом способе потребление энергии меньше.

На рис. 12.3 показана схема установки одноярусных силосов и их загрузки сырьевой мукой. Выходящая из мельниц сырьевая мука поступает в приемный бункер 7 пневмовинтового насоса 8. Воздух, подаваемый в насос компрессором 4 через ресивер 5 проходит очистку и осушку в вихревлагомаслоотделителях 6. Под избыточным давлением, создаваемым насосом, воздушно-сырьевая смесь по трубопроводу 1 подается в смесительные силосы 3. Процесс загрузки муки в различные силосы регулируют задвижками 2.

Схема загрузки сырьевой муки в смесительные силосы

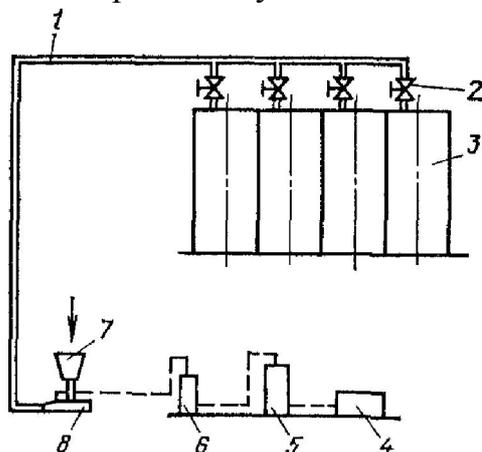


Рис. 12.3

Двухъярусные силосы (рис. 12.4) работают следующим образом. Верхний (смесительный) силос 6 диаметром 18 м высотой 12 м и вместимостью 3000 т служит для гомогенизации сырьевой муки. Расходный силос 3 имеет высоту 27 м, диаметр 12 м и вместимость 6000 т расположен под смесительным силосом 6. Он предназначен для хранения гомогенизированной муки и обеспечения определенного запаса для устойчивой работы печного агрегата. Силосы оборудованы устройствами для очистки аспирационного воздуха обычно рукавными и предохранительными клапанами (на схеме не показаны).

Схема двухъярусного силоса сырьевой муки

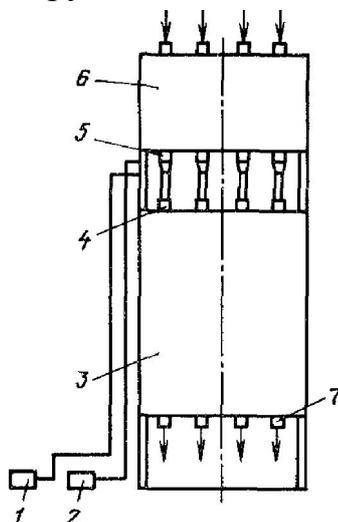


Рис. 12.4

Сырьевая мука по трубопроводам через регулирующую арматуру подается в верхнюю часть 6 смесительного силоса, где под действием восходящих потоков воздуха, подаваемого воздуходувками 1 и 2 через аэрокассеты, интенсивно перемешивается. Система аэрации смесительного силоса снабжена аэрокассетами с тканевыми перегородками, работающими по квадрантному способу. Причем, к «активным» (в данный момент времени) аэрокассетам подводится сжатый воздух от воздуходувок 1 с подачей  $10\,000\text{ м}^3/\text{ч}$ , а к «пассивным» — от воздуходувок 2 с подачей  $5\,000\text{ м}^3/\text{ч}$  под одинаковым давлением  $0,1\text{ МПа}$ . В результате пневматического перемешивания в течение 2 ч сырьевая мука достигает необходимой степени гомогенизации и перепускается через четыре донных сегментных разгрузателя 5 и трубы 4 в расходный силос 3, где хранится. Для предотвращения слеживания муки и поддержания ее во взвешенном состоянии расходный силос аэрируется воздухом от компрессоров под давлением  $0,25\div 0,3\text{ МПа}$ . По мере необходимости сырьевая мука выгружается из расходного силоса через четыре сегментных разгрузателя 7 и подается в печной агрегат через систему транспортирующих и дозирующих устройств.

### 13. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АСБЕСТО-ЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В технологической линии для производства асбестоцементных волнистых листов (рис. 13.1) установлено следующее оборудование: листоформовочная машина 1, ротационные или гильотинные 2 ножницы, механизм раскроя и волнировщик 3. После волнирования и калибрования листы укладываются в стопы на укладчике 4 и далее проходят твердение на транспортере 5. Съем затвердевших стоп с тележек транспортера твердения и передача их на приемный транспортер-увлажнитель 7 осуществляется съемником стоп 6. Стопирование производится на машине 8.

Технологическая линия для производства асбестоцементных волнистых листов

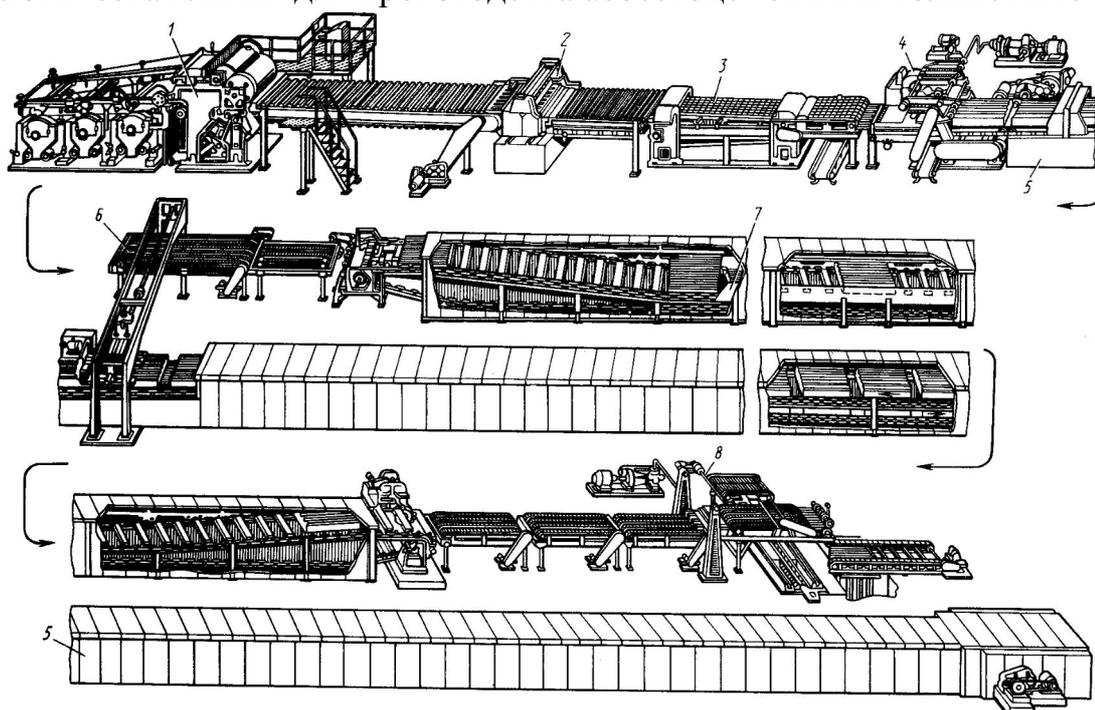


Рис. 13.1

### 13.1. Листоформовочная машина

Листоформовочная машина предназначена для образования на сетчатом цилиндре пленки из асбестоцементной массы с последующим ее навиванием и уплотнением на форматном барабане.

В зависимости от технологического назначения различают три основные части машины: фильтрационную, обезвоживающую (с помощью вакуума) и прессовую. Она состоит из форматного стана, трех ванн с сетчатыми цилиндрами и мешалками, фильцевой рамы с сукном, автоматического срезчика наката, гидросистемы, приводов (соответственно машины, сукнобойки и мешалок).

Форматный стан (рис. 13.1) включает станину 1, форматный барабан 2, пресс-валы (основной 3 и два дополнительных 4 и 5), гидроцилиндры к пресс-валам 3, 4 и 5 (два основных и четыре дополнительных), две вакуум-коробки (высокого вакуума 6 и низкого 7), три спринклерные трубки 8, 9 и 10, толщиномер 11, сукнобойку 12, натяжное устройство 13, центрирующее устройство 14 (сукноправки) для автоматического поддержания симметричного расположения сукна относительно оси машины и разгонных роликов 15.

Листоформовочная машина

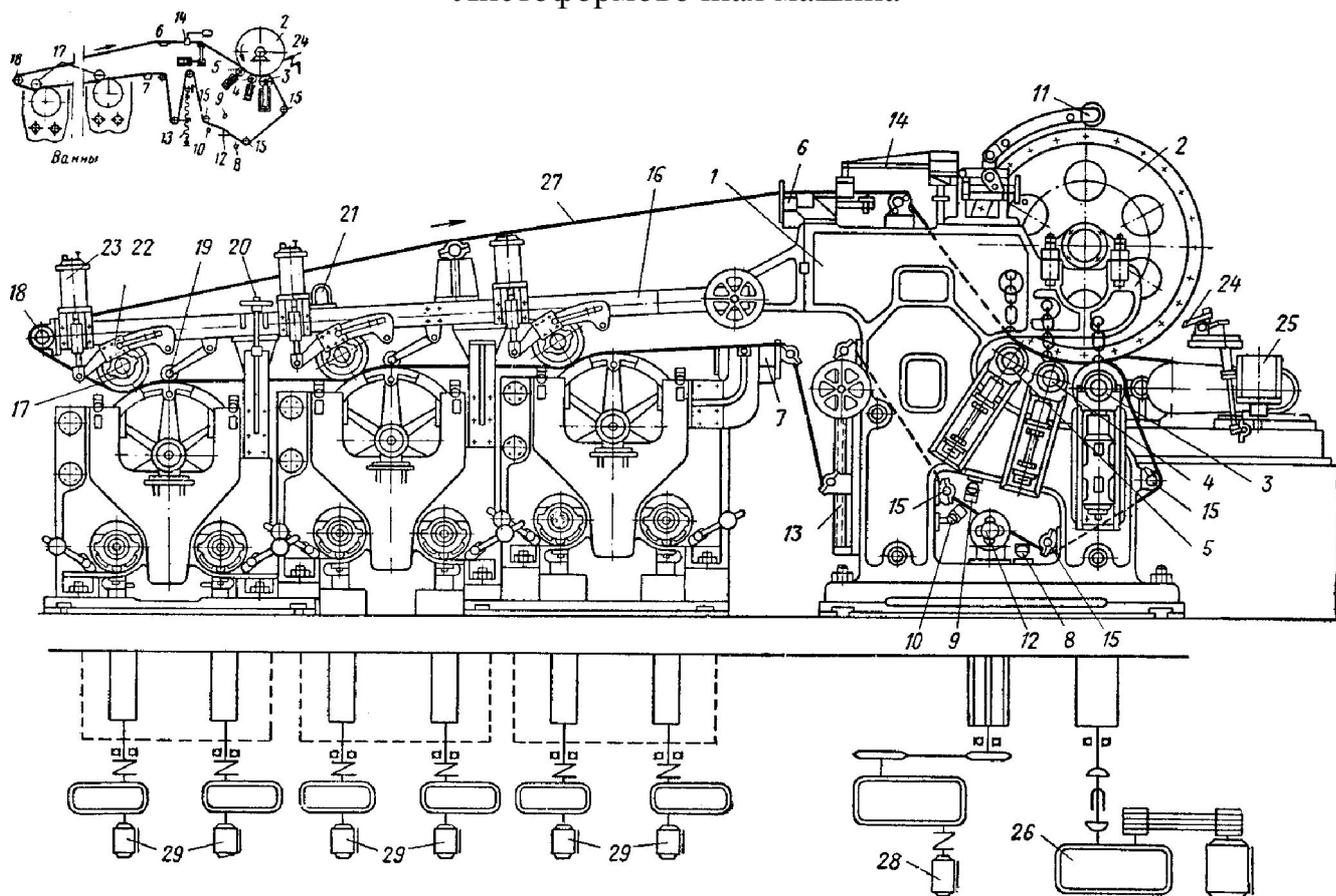


Рис. 13.1

Корпус ванны с сетчатым цилиндром и двумя мешалками (рис. 13.2) состоит из двух боковин 1 и короба 2, имеющего профиль двух полуокружностей, концентричных мешалкам 3. Боковины отлиты заодно с карманами 4, предназначенными для отвода фильтрата из полости сетчатого цилиндра. В нижней

части ванны имеются два отверстия со сливными клапанами 5 с рычажно-грузовыми устройствами 6. Параллельно одной из стенок ванны приварена перегородка 7. В образовавшийся карман без дна через отверстие 8 подается асбестоцементная суспензия.

С внутренней стороны обеих боковин ванны крепятся кольцеобразные воротники 9, к которым примыкают ободы вращающихся сетчатых цилиндров. Место примыкания этих двух деталей выполнено в виде кольцевой канавки, куда закладывается резиновое кольцо 10, уплотняющее стык и не позволяющее суспензии проникнуть в полость сетчатого цилиндра и в карманы 4 боковин.

Ванна с сетчатым цилиндром и мешалками

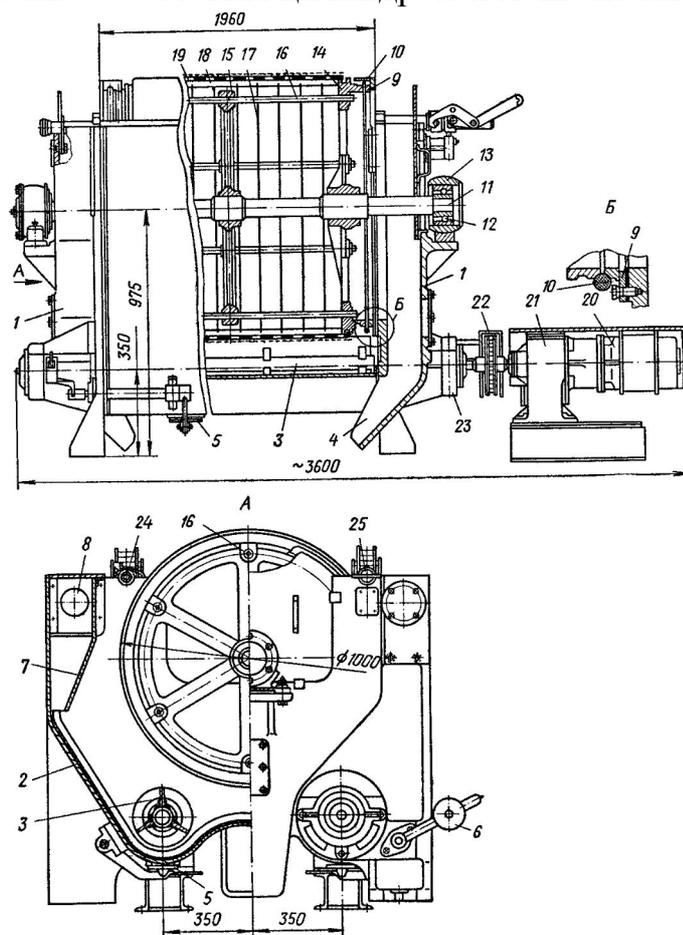


Рис. 13.2

Сетчатый цилиндр  $\varnothing 1000$  мм приводится во вращение движущимся сукном машины. Он представляет собой ось 11 на подшипниках качения 12, корпуса 13 которых имеют сферическую опорную поверхность, что обеспечивает самоустанавливание сетчатого цилиндра. На оси 11 закреплены ободы: два крайних 14 и три промежуточных 15. Ободы в свою очередь соединены стяжками 16, концы которых приварены к крайним ободам. К стяжкам приварены кольца 17 из листовой стали, имеющие пазы, в которые заложены продольные планки 18 (184 шт.).

Цилиндрическая поверхность сетчатого цилиндра обтягивается двумя латунными сетками 19: подкладочной и сверху фильтрующей.

Каждая из двух мешалок 3 приводится в движение от собственного электродвигателя 20 через редуктор 21 специальной конструкции. Между валом

редуктора и валом мешалки находится цепная муфта 22. Вал мешалки вращается в подшипниках 23.

Для промывки сетки цилиндра (необходимое условие для правильной эксплуатации листоформовочной машины) установлена перфорированная спринклерная трубка 24, а для получения ровных кромок фильтруемого слоя на сетчатом цилиндре – вторая спринклерная трубка 25, которая имеет вместо отверстий две щели шириной 2 мм. Длину щели можно регулировать подвижными кольцами.

Фильцевая рама с сукном (рис. 13.1) представляет собой сварную раму 16, на которой смонтированы три подвески гауч-валов 17, обводной ролик 18 и два водозадерживающих ролика 19. Фильцевая рама шарнирно присоединяется к станине форматного стана и в своем нижнем (рабочем) положении фиксируется специальным запорным устройством 20. Для подъема рамы служит стационарная электролебедка, тросы которой прикреплены к ушкам 21 рамы.

Подвеска гауч-вала 17 представляет собой коромысло 22, один конец которого шарнирно присоединен к раме 16, а второй – к штоку регулируемого пружинно-гидравлического механизма 23. Сам гауч-вал 17 – это металлический барабан  $\varnothing 400$  мм, покрытый двумя слоями резины: внутренний – твердый толщиной 6 мм и наружный мягкий толщиной до 20 мм. Ось гауч-вала вращается в подшипниках качения.

Давление гауч-вала на сетчатый цилиндр состоит из веса гауч-вала и давления, создаваемого пружинно-гидравлическим механизмом 23.

Обводной ролик 18 по конструкции подобен гауч-валу. Водозадерживающие ролики 19 смонтированы на шарнирных подвесках перед вторым и третьим сетчатыми цилиндрами. Сукно является рабочим органом, от которого через основной пресс-вал 3 получают вращение все сетчатые цилиндры, форматный барабан 2, дополнительные пресс-валы 4 и 5, гауч-валы и все обводные и поддерживающие ролики.

Автоматический срезчик наката состоит из режущего устройства 24 и сблокированного с ним толщиномера 11. Режущее устройство 24 смонтировано на раме подводящего транспортера ротационных ножниц. Толщиномер установлен на станине 1 форматного стана.

Режущее устройство представляет собой нож в виде гребенки. Через систему рычагов и тяг это устройство соединено с якорем электромагнита 25. Под действием электромагнита система рычагов и тяг поворачивает нож режущего устройства на некоторый угол и его гребенки разрезают накат на форматном барабане. Режущее устройство имеет пружинный демпфер.

Толщиномер 11 состоит из двух контактных роликов, сидящих на одной оси, и рычажной системы на шарнире. Ось роликов электрически изолирована от станины машины. Винтовой механизм позволяет создавать между контактными роликами и форматным барабаном зазор, соответствующий толщине наката.

При получении наката заданной толщины замыкается электрическая цепь между контактными роликами (или одним из них) и форматным барабаном 2. Напряжение в электрической цепи 12 В. Токовое реле усиливает сигнал и передает его на промежуточное реле, контакты которого включают электромагнит автоматического срезчика. Электромагнит включается только после нажима одного

из кулачков, установленных на форматном барабане, на соответствующий конечный выключатель. При включении электромагнита нож врезается в свежий накат и разрывает его. После разрезки накат переходит на подводящий транспортер ротационных ножиц. Срезчик отключается в результате действия второго кулачка на другой конечный выключатель после поворота форматного барабана на угол, равный  $300\div 340^\circ$  (от начала среза наката).

Гидросистемы предназначены для поддержания стабильного давления масла в гидроцилиндрах пресс-валов 3, 4 и 5, а также в автоматическом центрирующем устройстве 14.

Привод машины осуществляется от основного пресс-вала 3, который получает движение от привода 26. От пресс-вала движение передается сукну 27, а через него форматному барабану, сетчатым цилиндрам, гауч-валам и некоторым другим вращающимся частям листоформовочной машины. Сукнобойка 12 и мешалки суспензии в ваннах имеют также индивидуальные приводы – соответственно 28 и 29.

Листоформовочная машина работает следующим образом. Асбестоцементная суспензия поступает в ванны и заполняет их до уровня, при котором сетчатый цилиндр должен быть погружен на величину до 0,7 своего диаметра. Под действием разности уровней суспензии в ванне и в полости сетчатого цилиндра (гидростатическое давление) происходит фильтрация воды в полость сетчатого цилиндра, при этом частицы асбестоцемента остаются на сетчатом цилиндре и отжимаются гауч-валами. С каждого сетчатого цилиндра пленка асбестоцемента последовательно снимается движущимся сукном – получается бесконечная асбестоцементная лента толщиной  $0,6\div 1,1$  мм.

С переходом пленки с сетки на сукно она под действием гауч-вала обезвоживается и уплотняется. Вода удаляется как сквозь сетку, так и через сукно. Отфильтрованная пленка на сетчатом цилиндре содержит до 67% воды, а после уплотнения ее гауч-валом – около 50%.

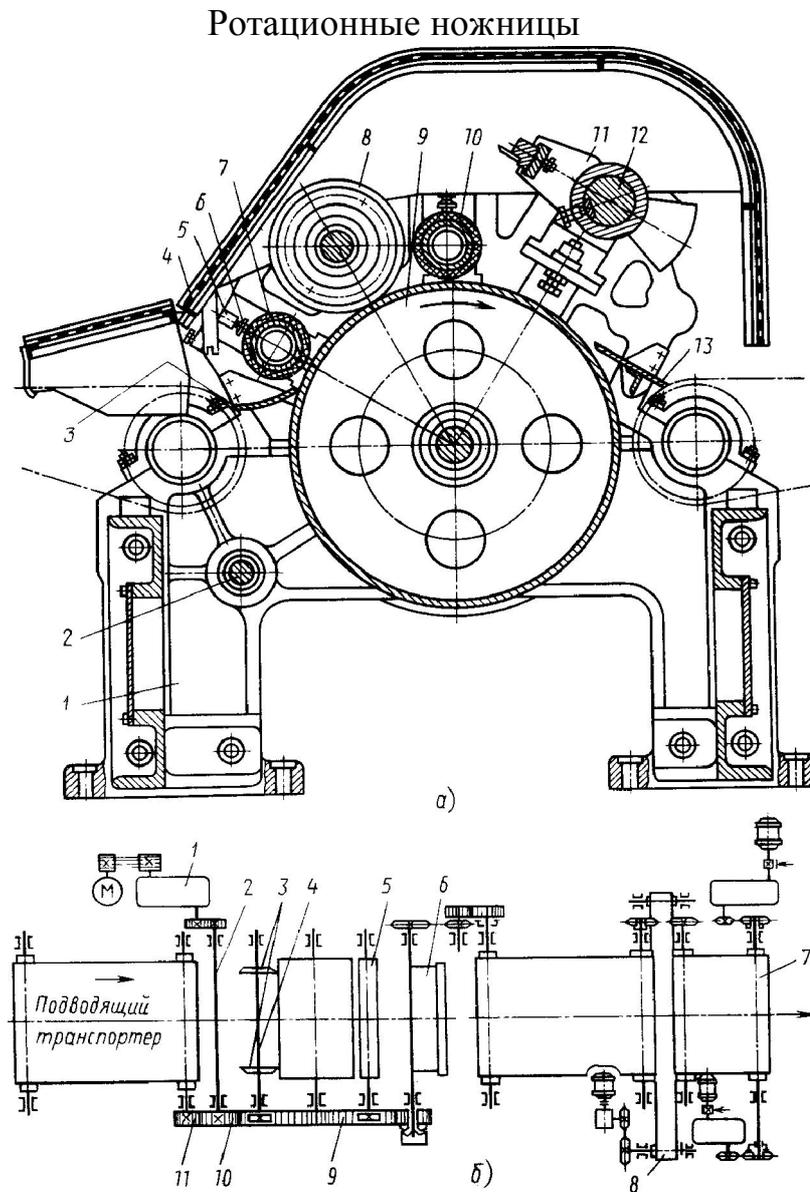
Образовавшаяся лента вместе с сукном обходит обводной ролик 18 и обезвоживается до  $33\div 42\%$ , проходя над коробкой 6 высокого вакуума. Глубина вакуума  $250\div 350$  мм рт. ст. Далее асбестоцементная лента двумя дополнительными пресс-валами 5 и 4 и основным (приводным) пресс-валом 3 через сукно прижимается к форматному барабану 2 и уплотняется.

Форматный барабан, вращаясь, навивает на себя асбестоцементную пленку. По достижении заданной толщины срабатывает толщиномер 11, заблокированный с автоматическим срезчиком 24, который и срезает без остановки машины образовавшийся накат. Освободившееся сукно проходит разгонные ролики 15, которые его распрямляют, очищается билами сукнобойки 12, промывается с двух сторон водой системой спринклерных трубок 8, 9 и 10 и, проходя над коробкой 7 низкого вакуума глубиной до 300 мм, обезвоживается (подсушка сукна). Для натяжения сукна применяют устройство 13, а для симметричного расположения сукна по отношению к продольной оси машины служит сукноправка 14.

### 13.2. Ротационные ножницы

Срезанный с листоформовочной машины накат поступает на ленточный подводящий конвейер и далее на резательное устройство – ротационные или гильотинные ножницы.

Ротационные ножницы представляют собой литую станину 1 (рис. 13.3, а), на которой смонтированы: транспортирующий барабан 9, механизм 8 продольной резки, механизм 11 поперечной резки, прижимные обремененные ролики 7 и 10, направляющие металлические листы 3 и 13, пружины 6, винты 5 для регулирования зазора между транспортирующим барабаном и прижимными роликами 7 и 10 и ограждение 4. Через станину проходит вал 2 контрпривода, на конусе которого закреплена ведущая шестерня, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом транспортирующего барабана.



а – общий вид; б – кинематическая схема

Рис. 13.3

На станине ножниц предусмотрены опоры для валов подводящего и отводящего транспортеров.

От главного привода 1 (рис. 13.3, б) и дополнительной зубчатой пары получает движение вал 2 контрпривода, на конце которого закреплена шестерня 10, передающая вращение шестерне 11 вала барабана подводящего транспортера и зубчатому колесу 9 вала транспортирующего барабана. Зубчатое колесо 9 передает вращение шестерням механизма 4 продольной резки, механизма 6 поперечной резки и прижимному ролику 5. С вала механизма 6 поперечной резки через цепную и зубчатую передачи движение передается отводящему транспортеру. Транспортеры для обрезков 8 и питающий транспортер 7 имеют отдельные приводы. Транспортер 8 передает обрезки в мешалку на переработку.

Механизм 4 продольной резки представляет собой вал, приводимый во вращение через зубчатую передачу от вала транспортирующего барабана, и два ножевых диска 3, закрепленных на валу, которые и осуществляют продольную резку наката. Конструкция опор вала механизма продольной резки позволяет изменять зазор между транспортирующим барабаном и дисковыми ножами.

Механизм 11 поперечной резки (рис. 13.3, а) смонтирован на валу 12, периодически вращающемся через зубчатую передачу от вала транспортирующего барабана 9.

### *13.3. Гильотинные ножницы*

Гильотинные ножницы используют в технологических линиях по производству крупноразмерных волнистых листов длиной 2000 и 2500 мм. В отличие от ротационных ножниц гильотинные ножницы имеют более сложную конструкцию, но обеспечивают высокую точность длины формата, так как раскрой подвергается неподвижно лежащий накат.

Гильотинные ножницы (рис. 13.4) состоят из приемного транспортера 1, сбрасывателей 2, 4, 10 и 12, поперечных ножниц 3, 5, 7, 9 и 11, транспортеров 6 и 8 раскроя, питающих транспортеров 13, 14 и 15 и электроприводов 16, 17, 18, 19 и 20.

Работают гильотинные ножницы в такой последовательности. Накат с листоформовочной машины выстилается на приемный транспортер 1 со скоростью, несколько превышающей скорость сукна. Электропривод 20 приемного транспортера включается еще до начала срезания наката с форматного барабана листоформовочной машины. По окончании размещения листа на транспортере электропривод 20 выключается, а накат продолжает двигаться, получая движение от электропривода 19, по транспортеру 8 раскроя наката до тех пор, пока не расстелится на транспортерах 6 и 8 под поперечными ножами. После этого электропривод 19 выключается и ножи разрезают неподвижный накат на два формата.

При раскрое наката на форматы длиной 2000 мм работают поперечные ножницы 5, 7 и 9. Остальные двое ножниц отключены. При раскрое наката на формат длиной 2500 мм работают ножницы 3, 7 и 11. В первом случае передний и задний обрезки сбрасываются под машину приводными сбрасывателями 4 и 10, а во втором – такими же сбрасывателями 2 и 12. Сбрасыватели кинематически связаны с ножевыми устройствами.

### Кинематическая схема гильотинных ножниц

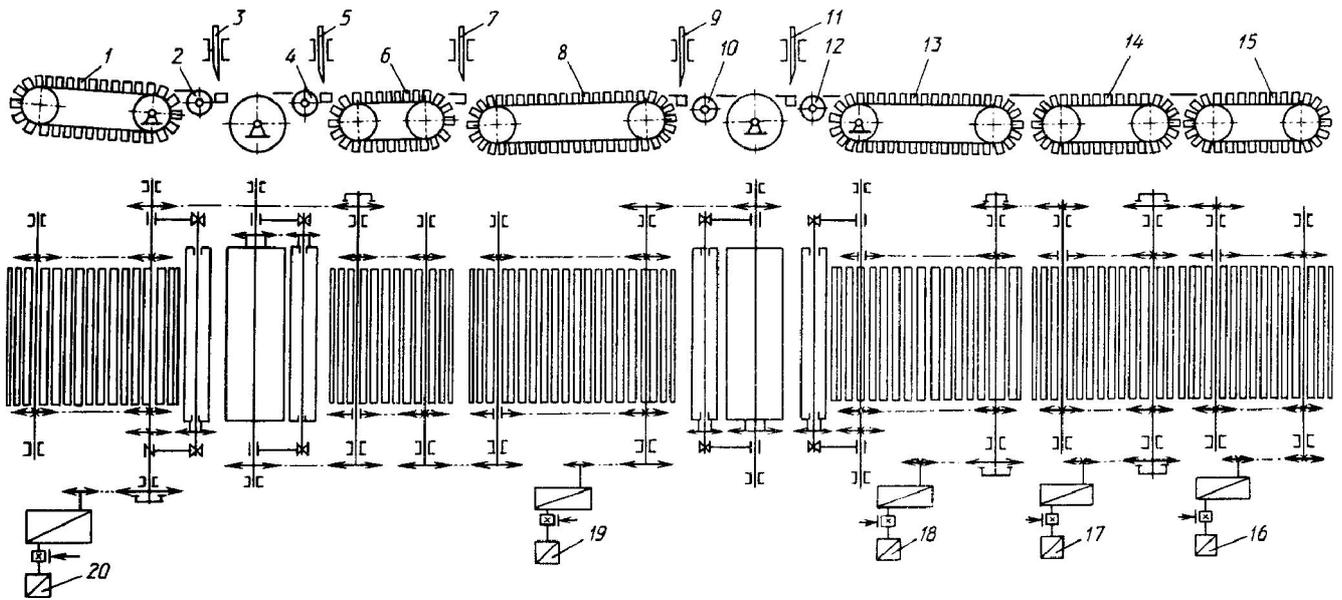


Рис. 13.4

После раскроя наката электропривод 19 вновь включается и форматы транспортируются далее по питающим транспортерам 13 и 14, движение которым сообщается их приводами 17 и 18. При расположении форматов на этих транспортерах приводы 17 и 18 отключаются. Дальнейшие движения форматов производятся на малой скорости питающего транспортера 15 от привода 16, с которой они подаются на волнировщик. Повторное включение приводов 17 и 18 происходит последовательно по мере схода с транспортеров 13 и 14 задней кромки второго формата.

Питающие транспортеры 13 и 14 приводятся от ведомого вала питающего транспортера 15 посредством нескольких цепных передач через обгонные муфты, установленные на ведущих валах передач.

#### 13.4. Поперечные ножницы

Станина поперечных ножниц (рис. 13.5) состоит из двух стоек 1, на которых с помощью болтов закреплены боковины 12. Обе стойки стянуты опорной балкой 9. Ножедержатель 7 с ножом 8 подвешен на серьгах 5 к рычагам 4 и 11, образующим вместе со стяжкой 6 замкнутый четырехзвенник. На одной из стоек станины шарнирно укреплен гидроцилиндр 2, шток гидроцилиндра шарнирно соединен с рычагом 4 четырехзвенника. Ролики 3 ограничивают ножедержатель от возможных перекосов во время движения. Нож 8 закреплен винтами в пазах ножедержателя. Горизонтальное положение лезвия ножа регулируется эксцентриковыми упорами 10. Нож – биметаллический изготавливают из двухслойной стали. Основная часть ножа выполнена из углеродистой стали, а тонкая режущая пластина из легированной стали. Угол заточки  $16 \pm 20^\circ$ . В местах резания, где возможно соприкосновение ножа с металлическими деталями ножниц, в опорной балке уложен сменный деревянный брус.

## Поперечные ножницы

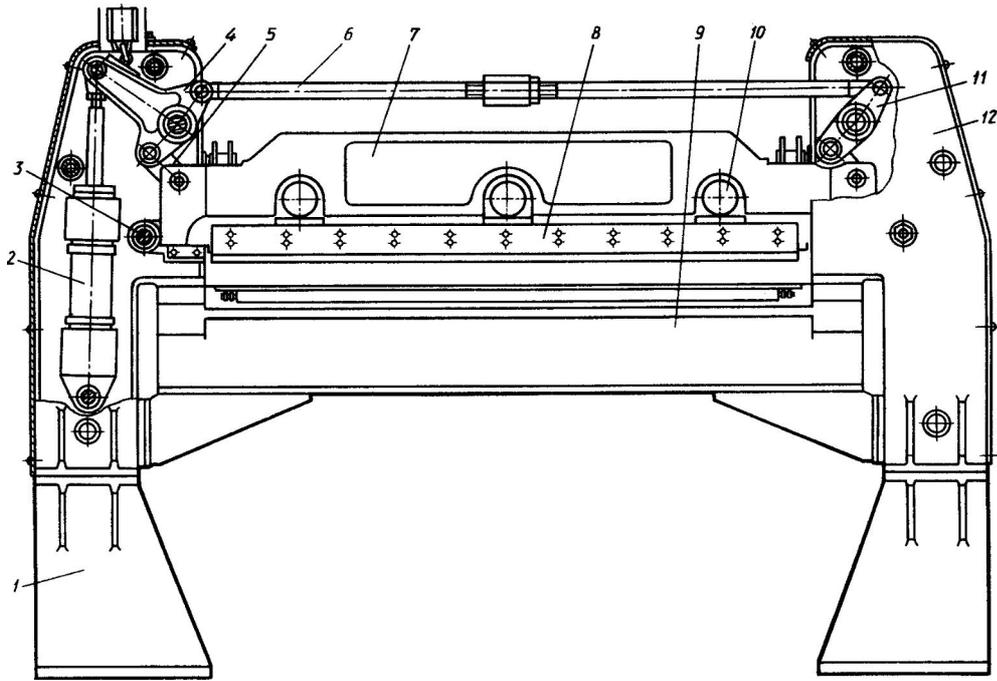


Рис. 13.5

### 13.5. Волнировщик

Волнировщик предназначен для придания заготовкам волнистой формы, калибровки листов, обрезки продольных кромок и выдачи листов на стол укладчика.

Волнирование заготовок – наиболее ответственная технологическая операция, так как при этом заготовки значительно деформируются. Подаваемые на волнировщик заготовки должны иметь достаточную пластичность и способность легко воспринимать придаваемую им «волну» без возникновения остаточных напряжений в изделии.

Волнировщик (рис. 13.6) состоит из двух агрегатов – волнирующего и калибрующего.

Волнирующий агрегат представляет собой два набора веерообразно сходящихся бесконечных цепей – верхних 8 и нижних 24, приводимых в движение от электродвигателя 21 и цепной передачи 22 на ведущий вал нижнего ряда цепей. Вращение вала 9 верхнего ряда цепей передается парой шестерен. Натяжка цепей производится индивидуально с помощью рычажно-винтовых механизмов 1 и 6. К звеньям втулочно-роликовых цепей прикреплены формирующие башмаки, профиль которых соответствует профилю волн асбоцементного листа.

Для быстрого удаления из машины листа, получившего повреждение, предусмотрено реверсирование привода волнирующего агрегата. Установленная на приводной звездочке приводного вала обгонная муфта 34 отключает при реверсе привод последующих по ходу технологического процесса узлов. Для предупреждения слипания листов при укладке их в стопы нижняя часть листов смачивается мыльной эмульсией с помощью устройства, состоящего из ванны 3 и роликов 4 и 5. Привод ролика 5 обеспечивается нижним ведомым валом 2.

Цепи верхних и нижних рядов, расположенные с углом сходимости  $\alpha$  не более  $1^\circ$ , сближаются, постепенно входя в зазоры между противоположащими рядами,

и придают плоскому листу волнистую форму (разрезы А—А и Б—Б). В средней части волнирующего агрегата установлены конечные выключатели 7, обеспечивающие требуемый интервал между движущимися заготовками.

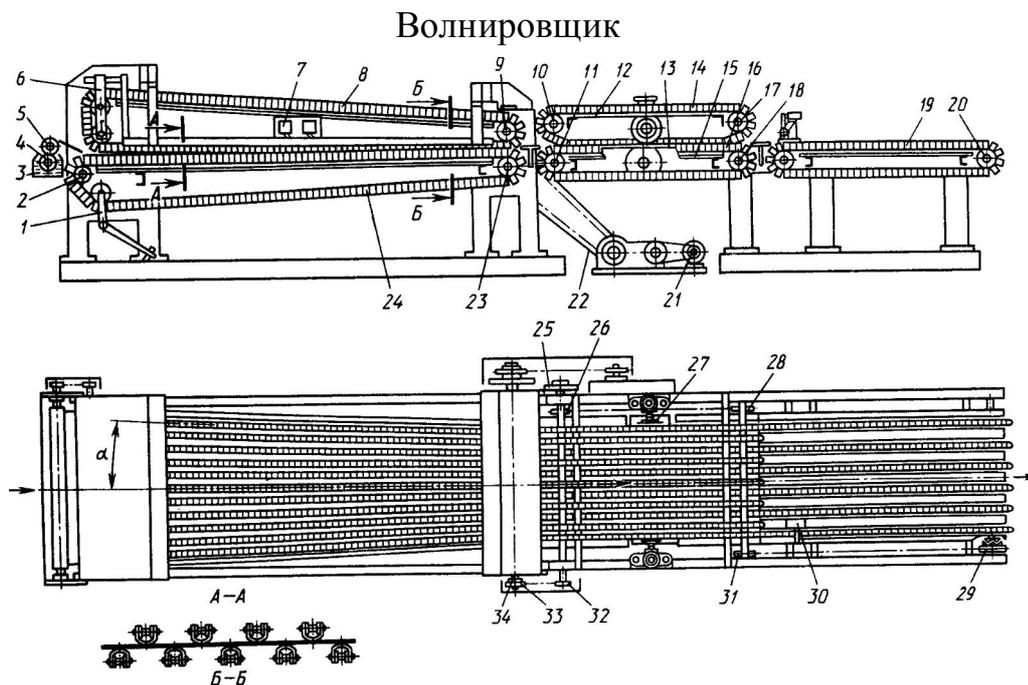


Рис. 13.6

Калибрующий агрегат также состоит из набора верхних и нижних цепей, но расположенных в горизонтальной плоскости параллельно. Движение нижним профильным цепям передается от ведущего вала 23 через звездочки 33 и 32, вал 11, звездочки 26 и 28, вал 18 нижнего ряда цепей. Верхние профильные цепи получают движение от нижнего вала 11 через шестеренчатую пару 25, вал 10, профильные цепи 14 и вал 17.

Верхние ветви нижних цепей 16 при движении опираются своими роликами на направляющие 15, а нижние ветви верхних цепей 14 опираются на профильные балки 13 и при движении калибруют своим весом лист. Верхние ветви верхних цепей поддерживаются балками 12. Обрезка продольных кромок производится дисковыми карборундовыми ножами 27, установленными на продольных балках средней части волнировщика.

Отволнированные и калиброванные листы подаются транспортером 19 выдачи. Вал 20 транспортера выдачи приводится в движение цепной передачей с вала 18 через звездочки 29 и 31. Остановка и пуск транспортера выдачи производится по сигналу конечного выключателя 30.

Обрезки кромок и деформированные листы удаляются специальными транспортерами, установленными соответственно перед волнирующим агрегатом и под дисковыми ножами.

### 13.6. Трубоформовочная машина

Процесс формования асбестоцементных труб аналогичен процессу изготовления листовых изделий на листоформовочных машинах.

В связи с повышенными требованиями, предъявляемыми к физико-механическим показателем прочности материала и несущей способности асбестоцементных труб, их формуют из асбеста более высоких сортов. Для этого используют тонкую пленку, получаемую из асбестоцементной массы пониженной концентрации.

В основном трубоформовочные машины, работающие по способу концентрического навивания асбестоцементной пленки на вращающийся металлический сердечник – «форматную скалку». Так как внутренний диаметр формируемых асбестоцементных труб зависит от наружного диаметра форматных скалок, трубоформовочные машины комплектуются набором скалок различных диаметров. Трубоформовочные машины используют для изготовления труб длиной 3,1; 4,1; 5,1 м с наружным диаметром 100÷600 мм.

Трубоформовочная машина (рис. 13.7) работает следующим образом. Асбестоцементная суспензия из ковшового смесителя аппаратом питания подается в смеситель 16, откуда через порог переливается в ванну 17 сетчатого цилиндра 19, в которой установлены два смесителя 18, предназначенные для перемешивания смеси с целью предупреждения ее расслаивания. Асбестоцементная пленка снимается с сетчатого цилиндра бесконечным рабочим сукном 21, которое прижимается к поверхности сетчатого цилиндра отжимным валом 15. После перехода асбестоцементной пленки с сетчатого цилиндра сукно проходит над вакуумной коробкой 9, предназначенной для частичного обезвоживания асбестоцементной пленки и сукна и уплотнения пленки. При дальнейшем движении сукно проходит регулируемый валик 29 и подходит к форматной скалке 3, вращающейся на опорном валу 2; последний приводится во вращение от общего привода машины.

Схема трубоформовочной машины

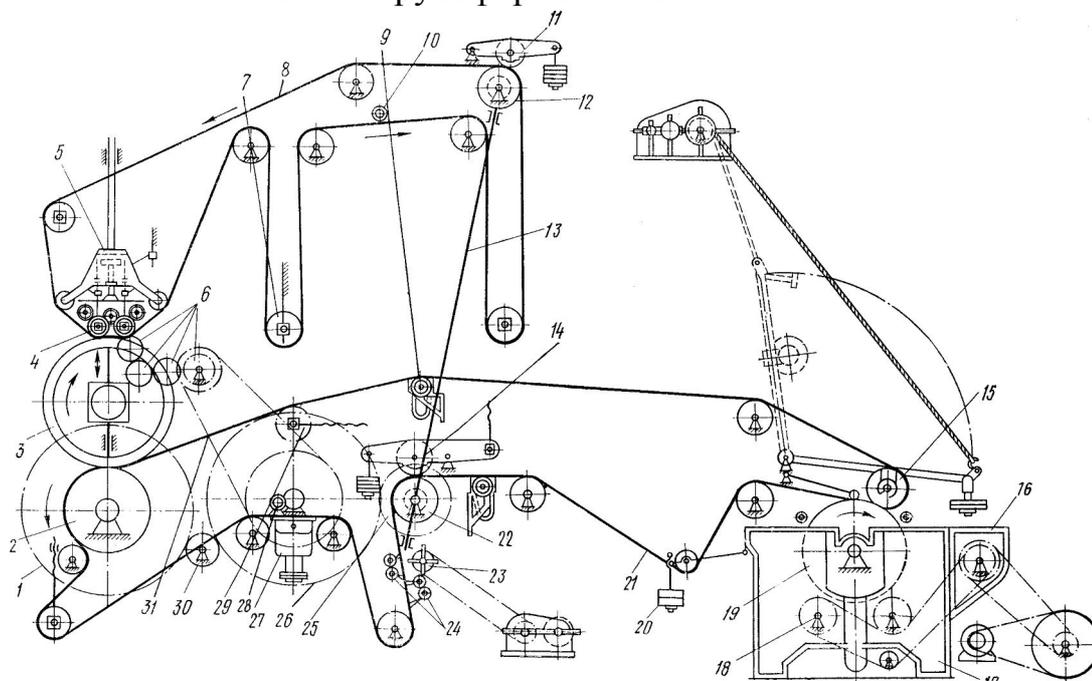


Рис. 13.7

Асбестоцементная пленка переходит на форматную скалку и, навиваясь на ней, образует трубу. Сукно, освободившееся от асбестоцементной пленки,

промывается водой из трубки 28. Вода и частицы асбестоцементной смеси отсасываются вакуум-коробкой 27. При дальнейшем движении сукно поступает в зону действия сукнобойки 23, где производится вторичная промывка сукна водой из трубок 24. Затем сукно, проходя между вторым приводным 22 и отжимным 14 валами и над вакуумной коробкой, обезвоживается и направляется к сетчатому цилиндру. Уплотнение асбестоцементного слоя на форматной скалке производится прессующими валиками 4 экипажа давления 5. Для предотвращения перехода асбестоцементного слоя с форматной скалки на нажимные валки последние охватываются верхним бесконечным сукном 8, которое периодически промывается водой из трубки 10. После этого верхнее сукно проходит между приводным 12 и отжимным 11 валами и обезвоживается. Вал 12 приводится во вращение от вала 22 через конические зубчатые передачи и вал 13. Второй приводной вал 22 получает вращение от опорного вала 2 через шестерни 1, 25, 26, 30. Прессующие валики 4 приводятся во вращение от опорного вала 2 через шестерни 1, 6, 26, 30 и цепную передачу 31. Натяжение нижнего сукна производится механизмом 20, верхнего – натяжным механизмом 7.

## **14. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

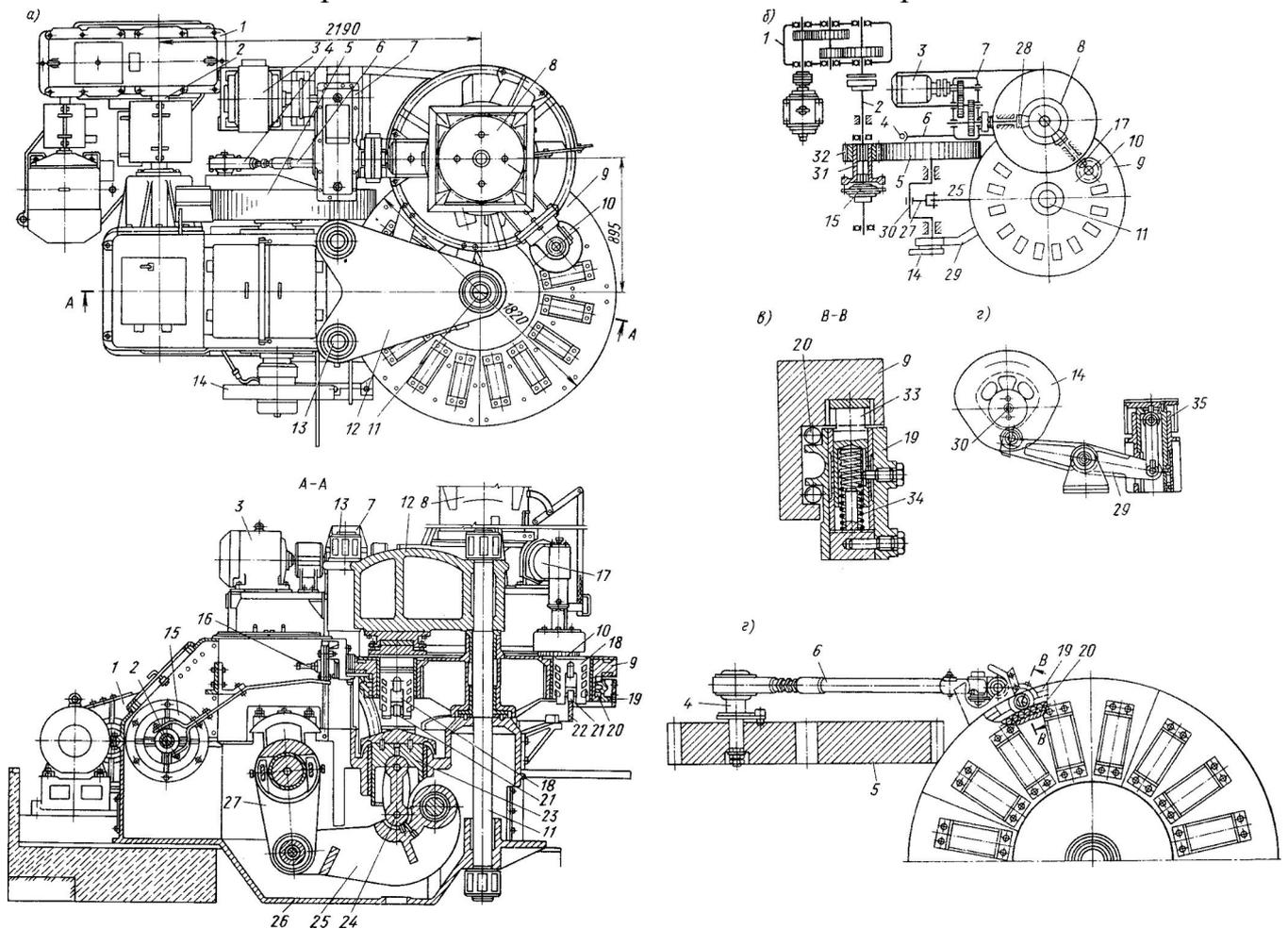
### *14.1. Пресс для формования силикатного кирпича*

Пресс для изготовления силикатного кирпича относится к машинам кривошипно-рычажного типа с периодически поворачиваемым столом, с односторонним и одноступенчатым прессованием. Пресс представляет собой трехпозиционный револьверный полуавтомат. В первой позиции происходит наполнение массой двух пресс-форм, во второй – прессование массы и в третьей – выталкивание двух отформованных кирпичей. Все эти операции совершаются во время остановки стола прессы.

Вал 2 (рис. 14.1) прессы приводится во вращение от электродвигателя через двухступенчатый редуктор 1. Пресс включается и выключается с помощью фрикционной муфты 15. Шестерня 32 закреплена на втулке 31 фрикционной муфты, свободно вращающейся на валу 2. Эта шестерня находится в зацеплении с зубчатым колесом 5 коленчатого вала 30. Вращение коленчатого вала возможно лишь при включении фрикционной муфты 15. К эксцентриковому пальцу 4, укрепленному на зубчатом колесе 5, шарнирно присоединен конец шатуна 6, второй его конец также шарнирно прикреплен к кольцу 19 поворота стола 9 прессы. Коленчатый вал 30 с помощью шатуна 27, прессующего рычага 25 и серьги 24 приводит в движение прессующий поршень 23. На коленчатом валу насажен кулак 14 механизма выталкивания кирпича. Мешалка 8 приводится в действие от отдельного электродвигателя 3 через редуктор 7 и коническую зубчатую пару 28. Для очистки стола прессы от налипающей массы служит металлическая щетка 10, приводимая во вращение от мешалки через пару конических шестерен 17.

Нижняя часть 26 станины прессы закреплена на фундаменте и соединена с верхней траверсой 12, воспринимающей усилие прессования, двумя стяжными колоннами 13 и центральной колонной 11, являющейся осью для вращающегося стола 9 прессы. В столе прессы размещено 16 радиально расположенных форм со вставленными в них штемпелями.

## Пресс для изготовления силикатного кирпича



*а* – общий вид пресса; *б* – кинематическая схема; *в* – механизм поворота стола;  
*г* – механизм выталкивания кирпича

Рис. 14.1

Стол 9 приводится в периодическое вращение от зубчатого колеса 5 с помощью шатуна 6, шарнирно соединенного с кольцом 19 поворота стола. Стол свободно вращается на шариках 20, уложенных в приливе обода стола. В приливе кольца 19 поворота установлена щеколда 33, прижимаемая пружиной 34 сверху. С нижней стороны стола в кольцевой проточке имеются восемь секторов, которые в собранном виде образуют храповик. При движении шатуна 6 вперед щеколда 33 скользит по скошенным пазам секторов и стол находится в покое. В это время формы наполняются массой, масса прессуется и после этого два отформованных кирпича выталкиваются на поверхность стола 9. При движении шатуна назад щеколда 33, отжимаемая пружиной 34, упирается в выступ кольцевого сектора, вследствие чего стол поворачивается вокруг оси на  $\frac{1}{8}$  оборота. Стол фиксируется тормозом 16. Частота вращения стола пресса – 3,55 об/мин.

Механизм выталкивания состоит из двуплечего рычага 29, выталкивающего поршня 35 и профилированного кулака 14, закрепленного на конце коленчатого вала пресса. При вращении кулак 14 нажимает на ролик двуплечного рычага 29, который, воздействуя на выталкивающий поршень 35, поднимает два штемпеля 18 до уровня стола 9 пресса. После выталкивания двух кирпичей переносный механизм подходит

под специальные выступы штампелей и это удерживает их от опускания. В таком положении они передаются на рельс, укрепленный на кронштейнах, которые повернуты к нижней части станины 26. При очередном повороте стола штампели скатываются на рельсы регулятора наполнения, установленного под мешалкой. Глубина (степень) наполнения регулируется специальным механизмом, управляемым вручную. Этим механизмом поднимаются или опускаются шины 22, по которым движутся ролики 21 штампелей 18.

Масса для прессования поступает из мешалки 8 через бункер; дном бункера служит питательный диск, укрепленный на большом коническом зубчатом колесе (конической пары) 28, которое неподвижно закреплено на вертикальном валу. К нижней части вала прикреплены скребки, которые, вращаясь вместе с валом, подают массу в формы стола через вырез в дне корпуса мешалки.

#### 14.2. Автомат-укладчик силикатного кирпича

Автомат-укладчик предназначен для съема силикатного кирпича-сырца со стола пресса и укладки его на запарочную вагонетку в штабель, конфигурация которого соответствует поперечному сечению автоклава.

Автомат-укладчик состоит из привода (рис. 14.2), съемника-кантователя, транспортера-накопителя, переносной тележки с подъемом и выдвиганием пневмошин, механизма выдвигания, толкателя, механизма программирования, пневматического оборудования.

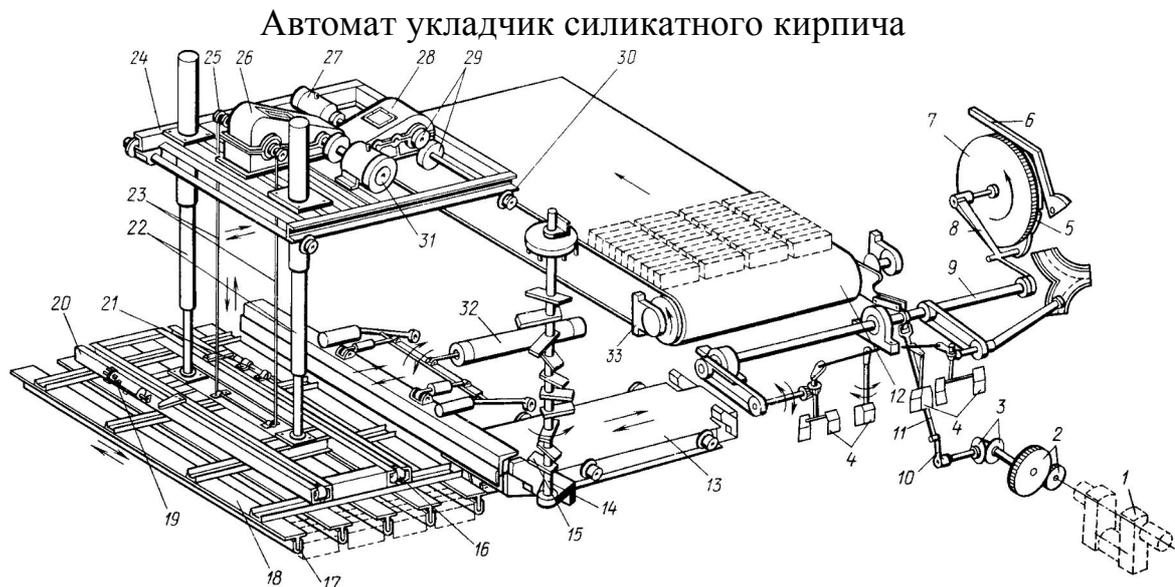


Рис. 14.2

Автомат получает движение от коленчатого вала 1 пресса. Привод отбора мощности включает цилиндрическую 2 и коническую 3 зубчатые передачи и кривошип 10. Кривошип 10 с помощью тяги 11 передает колебательные движения от пресса к транспортеру-накопителю 12. Съемник-кантователь состоит из двух парных (симметричных) пневмозахватов 4, которые зажимают кирпичи, снимают их со стола пресса, разворачивают в линию, кантуют на 90° и устанавливают на лотковую поверхность ленты транспортера-накопителя 12. Во время этих операций

съемник поворачивается в вертикальной плоскости на  $100^\circ$ . При холостом ходе съемника пневмозахваты 4 возвращаются в исходное положение.

Во время переноса четырех кирпичей с пресса на транспортер-накопитель 12 его лента перемещается на величину, равную толщине кирпича. В результате этого на транспортере-накопителе освобождается место для установки следующего ряда кирпича. Это перемещение производится приводом 33 транспортера-накопителя, получающего движение от вала 9 съемника-накопителя. После набора на ленте транспортера-накопителя слоя кирпича тележка 24 переносит его на автоклавную (запарочную) вагонетку для укладки в штабель. Переносная тележка 24 имеет привод перемещения, состоящий из электродвигателя 27, редуктора 28, зубчатой цилиндрической передачи 29 и катков 30, движущихся по рельсам (на рисунке не показаны).

На переносной тележке смонтирован также механизм подъема-спуска, состоящий из электродвигателя 31 и редуктора 26, на обоих концах выходного вала которого закреплены барабаны 25 для навивки каната 23. Канат прикреплен к подъемной раме 20.

Для обеспечения строгого направления подъемной рамы имеются две кинематические пары, шестерня-рейка 22. В направляющих балках подъемной рамы 20 перемещаются ролики 16, к которым подвешена выдвигная рама 18 с пневмошинами 17.

По окончании набора слоя кирпича на ленте транспортера-накопителя 12 пневмошины 17 опускаются в зазоры между рядами кирпичей и вслед за подачей воздуха под давлением  $0,02 \div 0,03$  МПа зажимают весь слой, после чего поднимаются в исходное положение. Механизм 24 передвижения переносной тележки продвигает ее на позицию укладки, где пневмошины снижаются на исходный уровень укладки данного слоя, что обусловлено положением упора 15 снижателя 14.

Снижатель представляет собой вертикально установленный вал, на котором в определенном порядке закреплены упоры, служащие ограничителями опускания пневмошин. Переносная тележка 24, передвигаясь в сторону вагонетки, поворачивает вал снижателя. Соответствующий упор вала занимает положение, при котором во время опускания пневмошин на него набегает конечный выключатель, смонтированный на подъемной раме. В этом нижнем положении воздух из пневмошин выпускается и слой кирпичей остается на автоклавной вагонетке, а пневмошины поднимаются в исходное положение.

Механизм выдвигки предназначен для формирования овального штабеля и представляет собой барабан 19 с кулачками, поворачиваемый с позиции на позицию при обратном ходе переносной тележки. Кулачки барабана 19 управляют выдвигной рамой 18 с пневмошинами 17, ролики 16 которой передвигаются по направляющим балкам подъемной рамы 20. В течение рабочего хода переносной тележки 24 выдвигная рама 18 вместе со слоем кирпича выдвигается на величину уступа в штабеле, а при холостом ходе возвращается в исходное положение. Выдвигная рама передвигается с помощью пневмоцилиндра 21.

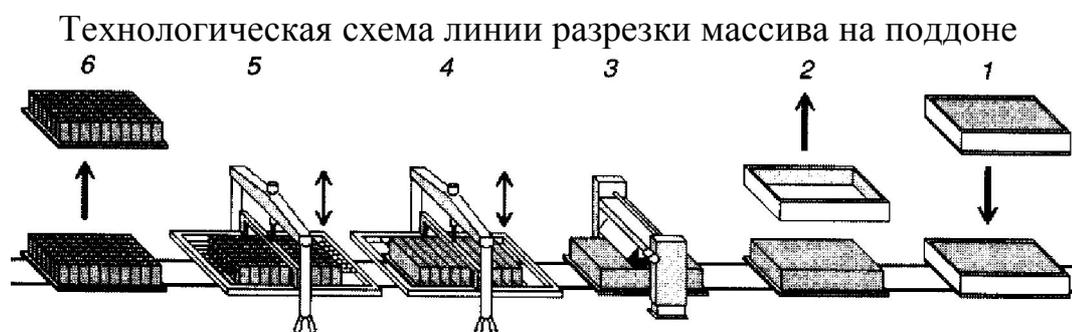
Толкатель 13, устанавливаемый в колее между рельсами ниже оси вагонетки, предназначен для выкатывания загруженной автоклавной вагонетки и подачи поршней. Для передвижения толкателя служит пневмоцилиндр 32 с ручным управлением.

Назначение механизма программирования – включить переносную тележку 24 в автоматическую работу после набора на транспортере-накопителе 12, требуемого для данного слоя количества кирпичей. Он представляет собой храповой диск 7, на котором закреплен кулачок 5 программирования, воздействующий через рычаг 6 и на конечный выключатель. Замыкаясь в моменты окончания набора данного слоя штабеля, он тем самым подает импульс на включение схемы автоматического управления. Храповый диск 7 приводится в движение вместе с кулачком 5 от эксцентрика съемника через тягу с качающимся рычагом 8.

### 14.3. Оборудование для изготовления газосиликатных блоков

#### 14.3.1. Линия для резки газосиликатного массива на поддоне

Способ резки массива на поддоне (рис. 14.3) используется при производстве мелких стеновых блоков и теплоизоляционных плит без подъема и переноса массива.



1 – установка формы на конвейер; 2 – съем бортоснастки; 3 – удаление «горбушки»;  
4 – поперечная резка; 5 – продольная резка; 6 – снятие разрезанного массива

Рис. 14.3

Высота формируемых массивов может быть 0,6 или 0,9 м. Форма состоит из поддона и съемной бортоснастки. Собранный и смазанный форма до заливки смеси устанавливается мостовым краном на ударную площадку. После заливки смеси в форму в течение 10-15 мин осуществляется ударное формование.

Выросший массив краном переставляется на посты вызревания смеси. В зависимости от плотности ячеистого бетона время вызревания массивов составляет 30-45 мин. При пластической прочности сырца, равной 15-20 МПа, форма устанавливается на конвейер (стадия 1) или самоходную тележку. Специальным захватом снимается бортоснастка (стадия 2) с массива (или раскрываются борта). Массив подается под машину для снятия «горбуши» (стадия 3). Образующиеся обрезки удаляются из рабочей зоны скребковым конвейером.

После снятия «горбуши» массив последовательно подается на резательные машины для вертикальной поперечной (стадия 4) и вертикальной продольной резки (стадия 5). Машина резки представляет собой раму с системой режущих струн, закрепленную на четырех колоннах и перемещающуюся в вертикальном направлении по ее направляющим. При движении вниз происходит резка

массива, при перемещении вверх – возврат рамы со струнами в исходное положение. Каждая струна натягивается гидро-, пневмоцилиндром или механическим способом (вручную). Движение соседних струн осуществляется в противоположных направлениях. Рама со струнами поднимается и опускается одним или двумя гидроцилиндрами. При необходимости до вертикальной поперечной резки производится поперечная горизонтальная резка.

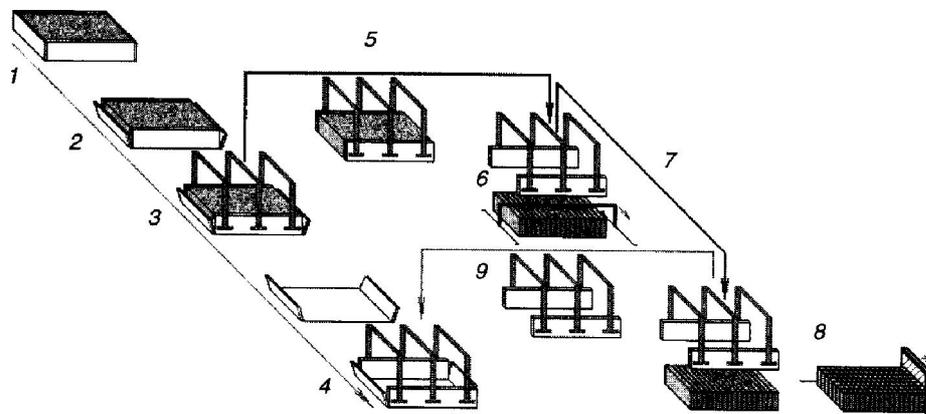
После резки поддон с массивом поступает на комплектацию автоклавных составов. После гидротермической обработки и выгрузки массивов из автоклавов мелкие блоки грейферным захватом снимаются с поддона и направляются на упаковку, контейнеризацию и склад готовой продукции. Поддон формы чистится, смазывается, на него устанавливается съемная бортоснастка, которая крепится к поддону, и готовая форма устанавливается на ударную площадку для последующей заливки и формирования ячеистобетонной смеси.

### 14.3.2. Резка с переносом массива

Данный способ разрезки массива является универсальным и позволяет производить широкую номенклатуру изделий из ячеистого бетона – мелкие стеновые блоки и теплоизоляционные плиты, армированные панели и брусковые перемычки.

Разрезка массива с переносом используется в технологических линиях фирмы «Hebel» (Германия), Durox (Нидерланды).

Технологическая схема линии разрезки с переносом массива



- 1 – форма с созревшим массивом; 2 – раскрытие поперечных бортов; 3 – подъем массива с поддона формы; 4 – установка продольных бортов (сборка формы); 5 – перенос массива на поперечную резку; 6 - поперечная резка; 7 – перенос массива на продольную резку; 8 – продольная резка и удаление «горбушки»; 9 – возврат бортов

Рис. 14.4

Форма (форма-вагонетка) состоит из поддона, закрепленных на ней торцевых бортов и съемных продольных бортов. Торцевые борта шарнирно закреплены на поддоне и могут открываться на определенный угол (15-200°), достаточный для извлечения массива (стадия 2). Если на технологической линии предусмотрен

выпуск армированных изделий, то один из поперечных бортов формы выполняется подвижным (с возможностью сдвига по длине формы). Таким образом, реализуется возможность уменьшения объема калибровочных обрезков при формовании длинномерных изделий с длиной меньшей, чем номинальная длина бортоснастки.

По окончании процесса роста и набора необходимой величины (0,4-0,6 кПа) пластической прочности торцевые борта формы открываются (стадия 2) и массив подается на стол резательной машины (стадия 5). Перенос массива осуществляется при помощи грузоподъемного крана, оснащенного специализированным захватом в виде лап с приводом их сжатия. Усилие обжатия от лап захвата передается на бетон через продольные борта формы, имеющие устройства для фиксации на лапах. Продольные борта, таким образом, являются частью грузозахватного приспособления (стадия 3). Для предотвращения выскользывания массива и снижения необходимой величины обжатия бетона внутренняя поверхность продольных бортов конструктивно выполнена с уклоном по высоте.

Резательная установка состоит из поперечной (стадия 6) и продольной (стадия 8) резательных машин, установки для снятия «горбуши». Краном массив устанавливается на машину поперечной резки, лапы грузозахватного приспособления (вместе с продольными бортами формы) разжимаются, освобождая массив. Захват поднимается грузоподъемным краном на расстояние, необходимое для прохода портала машины резки. Разрезка производится стальными струнами, совершающими возвратно-поступательные движения. Струны и их привод закреплены на передвижном портале, движущемся поперек массива. Стол резательной машины состоит из металлических пластин. Просветы между пластинами служат для прохода струн. Нарезаемый поперечной машиной размер, как правило, является строго фиксированным (249 мм) и соответствует высоте готового мелкого стенового блока.

По завершении процесса поперечной резки кран переносит массив на стол машины продольной резки. Операция также осуществляется при помощи захвата и продольных бортов формы, после чего борта возвращаются на пост распалубки и устанавливаются на поддон формы.

На машине продольной резки осуществляется подрезка и удаление «горбуши», продольный и горизонтальный рез (в т.ч. нарезаются профилированные торцы блоков системы паз-гребень). Разрезка производится неподвижными струнами, закрепленными на портале, передвигающемся вдоль массива. Нарезание пазов и гребней на торцах блоков происходит одновременно с процессом продольной резки. В этом случае горизонтальная режущая проволока заменяется профильными ножами. «Горбуша» снимается с помощью вакуум-щита.

До переноса массива на поперечную резку на резательную машину устанавливается автоклавная решетка (при выполнении резки решетка опускается под стол установки). Стол резательной машины состоит из отдельных пластин, между которыми параллельно входят элементы решетки.

После окончания резки грузоподъемный кран поднимает автоклавную решетку с разрезанным массивом и переносит на автоклавную вагонетку.

В резательных машинах нового поколения отсутствует операция переноса массива между резательными машинами. Операции продольной и поперечной резки совмещены и выполняются на одной установке.

Процесс резки начинается с поперечной резки массива. Стальные струны, находящиеся на уровне стола (под массивом), совершая колебательные движения, поднимаются вверх и разрезают при этом массив в поперечном направлении. Затем производится продольная (или горизонтальная) резка массива. Операция производится вертикальными и горизонтальными струнами, движущимися вдоль массива и совершающими возвратно-поступательные движения.

#### *14.3.3. Резка с кантованием массива*

В отличие от рассмотренных выше способов реза массива метод резки с кантованием предусматривает разрезку массива, повернутого на  $90^\circ$  (по сравнению с положением массива в процессе роста и набора пластической прочности). Данный метод позволяет упростить конструкцию резательного комплекса, т. к. практически все поверхности массива, которые пересекают плоскости реза, не соприкасаются с элементами установки или поддоном формы и открыты для беспрепятственного движения режущих струн. Благодаря этому отпадает необходимость применения сложного по конструкции стола (как в варианте резки с переносом массива), позволяющего проходить струнам сквозь массив, установленный на нем.

Следует отметить, что в подавляющем большинстве случаев при резке с кантованием автоклавная обработка массива производится также в развернутом положении – аналогично положению сырца при резке. При этом возникает необходимость в достаточно сложной специализированной установке (делительной машине) для послойного разделения пластов запаренных изделий. На установке производится разделение пластов изделий с помощью подвижного рейферного устройства с гидроприводом.

#### *14.3.4. Резка с кантованием на бортоподдон*

Данный метод предусматривает разрезку массива на поддоне, одновременно являющемся продольным бортом литейной формы. Применяемая в этом случае форма имеет достаточно сложную конструкцию и высокую материалоемкость.

В то же время кантование массива производится вместе с формой, что позволяет свести к минимуму напряжения в массиве, возникающие в результате кантования, – развитию деформаций и напряжений от них препятствует бортоснастка.

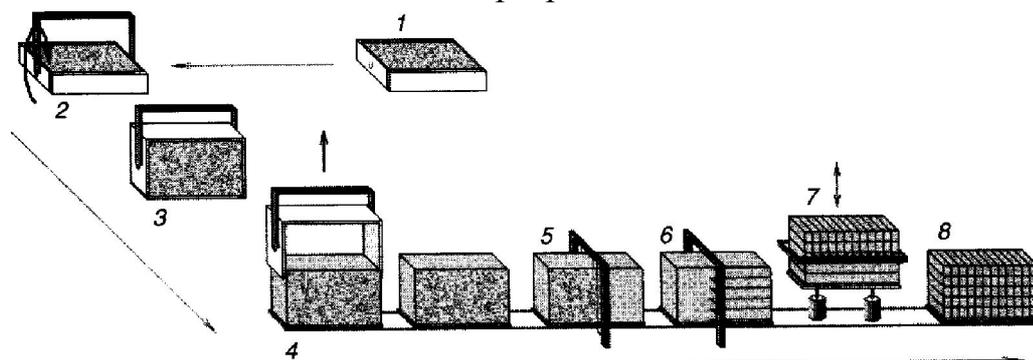
С целью предупреждения появления неполного разреза в области поддона между нижним рядом изделий и поддоном оставляют буферную прослойку массива, которую необходимо утилизировать после автоклавной обработки. В то же время наличие буферной прослойки позволяет устранить внутренние напряжения в бетоне изделий, возникающие при автоклавной обработке вследствие различных коэффициентов линейного расширения стали и ячеистого бетона.

Метод реализован в технологических линиях «Ytong» и «Masa-Henke» (Германия).

Форма (форма-вагонетка) имеет специальную конструкцию. Она состоит из жесткого коробчатого элемента (корпуса) и продольного борта, который служит днищем при резке массива. Кантование формы (стадия 2, 3) производится

посредством специального крана-манипулятора мостового типа с одновременным разъединением элементов (раскрытием замков борта) формы (стадия 4).

Технологическая схема линии резки с кантованием массива



1 – форма с созревшим массивом; 2 – кантование формы; 3 – перенос формы на линию резки; 4 – установка формы на линию резки, съем бортоснастки; 5 – калибровка, нарезка пазов и гребней; 6 – продольная резка; 7 – поперечная резка; 8 – разрезанный массив

Рис. 14.5

Готовый к резке массив в форме кантуется краном на  $90^\circ$  (стадия 2, 3), замки формы открываются, и корпус (коробчатый элемент) формы отделяется от сырца массива (стадия 4). Последний остается на бортподдоне, который устанавливается на тележку резательной машины. Тележка движется по рельсовому пути резательного комплекса, а массив, таким образом, последовательно проходит различные этапы резки.

В первую очередь производят боковую вертикальную калибровку массива (стадия 5) при помощи струн и, при необходимости, профилирование пазов и гребней на торцах блоков. Далее производят продольную резку (стадия 6) массива (задается толщина армированных элементов или блоков). При поперечной резке (стадия 7) массив с днищем поднимают вертикально, подавая в зону действия режущего элемента (технология «Ytong»), либо резка массива осуществляется за счет опускающейся сверху вниз рамы со струнами, совершающими колебательные движения (технология «Masa-Henke»). На этой же установке производится удаление верхнего срезанного калибровочного слоя. Продольная и поперечная резка производится струнами, совершающими возвратно-поступательные движения. Разрезанный массив вместе с поддоном устанавливается на автоклавную тележку.

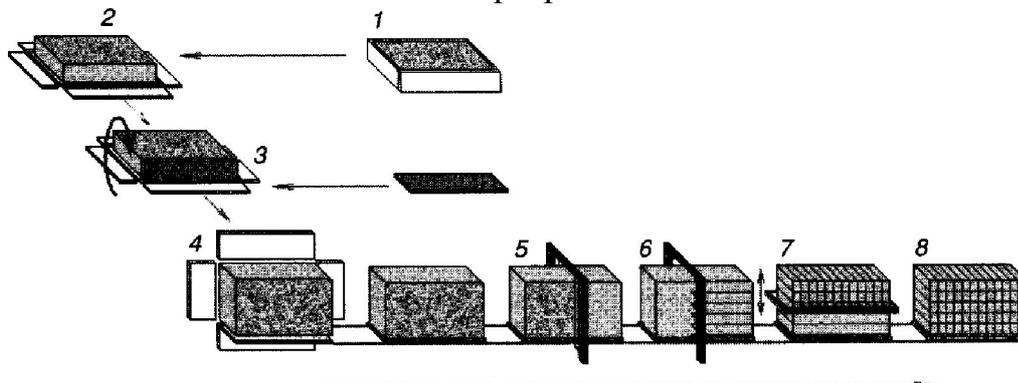
#### 14.3.5. Резка с кантованием на подставной поддон

Кантование на подставной поддон по сравнению с кантованием на бортподдон позволяет упростить конструкцию применяемой борт-оснастки, которая, становится подобна простой литейной форме с откидными бортами.

В то же время массив, кантуемый на поддоне, полностью воспринимает напряжения, возникающие в процессе изменения пространственного положения, чего не наблюдается при использовании форм с бортподдоном.

Реализуемое в технологических линиях фирмы «Wehrhahn» (Германия) кантование на подставной бортподдон в комплексе с удалением подрезного слоя позволяет снизить количество образующихся твердых отходов бетона.

Технологическая схема линии разрезки с кантованием массива



1 – форма с созревшим массивом; 2 – раскрытие бортов формы; 3 – установка автоклавного поддона; 4 – кантование и установка на линию резки; 5 – калибровка, нарезка пазов и гребней; 6 – продольная резка; 7 – поперечная резка; 8 – разрезанный массив

Рис. 14.6

Форма с набравшим необходимую пластическую прочность массивом (стадия 1) подается на пост распалубки (стадия 2), где производится открытие замков формы и ее борта откидываются на  $90^\circ$ .

Под продольный бок массива подставляется автоклавный поддон (стадия 3), и массив с формой на специальном стационарном кантователе поворачивается на  $90^\circ$  (стадия 4). На автоклавном поддоне массив подается под резательные машины, а форма кантователем возвращается в исходное положение, смазывается, собирается и вновь подается под загрузку.

Массив на автоклавном поддоне устанавливается на тележку резательной машины. Разрезка массива производится на линиях, аналогичных ранее описанным.

Часто после разрезки производят удаление подрезанного нижнего слоя массива. В этом случае на специальном кантователе массив поворачивается на  $90^\circ$  (устанавливается горизонтально). Автоклавный поддон отводится в сторону от сырца, и подрезной слой удаляется (падает). После этого к массиву подводится автоклавный поддон, и массив из горизонтального положения поворачивается опять в вертикальное.

После завершения процесса резки и удаления подрезного слоя массив вместе с поддоном устанавливается на автоклавную тележку.

#### 14.3.6. Утилизация отходов резки

Изготовление ячеистобетонных изделий с повышенной геометрической точностью подразумевает производство калибровки массива по максимально возможному числу граней. В отдельных случаях объем бетона, приходящегося на

калибровку (боковые обрезки, подрезной слой и «горбуша»), может превышать 10% от первоначального объема массива.

Установка для переработки отходов от резки массива и «горбуши» состоит из смесительного резервуара для возвратного шлама с мешалкой, в который подается вода, боковые обрезки сырца и «горбуша». Подача обрезков осуществляется по ленточному транспортеру (или иным способом), расположенному в приямке под всеми установками, производящими калибровку массива.

Получаемый возвратный шлам используется при приготовлении ячеистобетонной смеси для замещения части песчаного шлама. Количество отходов, добавляемое в приготавливаемую смесь, при пересчете на сухое вещество должно составлять не более 10-15% от массы сухих компонентов смеси.

## 15. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГИПСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

### 15.1. Агрегат для формования гипсокартонных листов

На формующем столе осуществляется подготовка картона и нанесение на него приготовленного гипсового теста при производстве гипсокартонных листов.

Формующий стол, (рис. 15.1) состоит из следующих основных узлов: каркаса (рамы), станков для подготовки нижнего и верхнего картона и механизма для формования листов сухой гипсовой штукатурки.

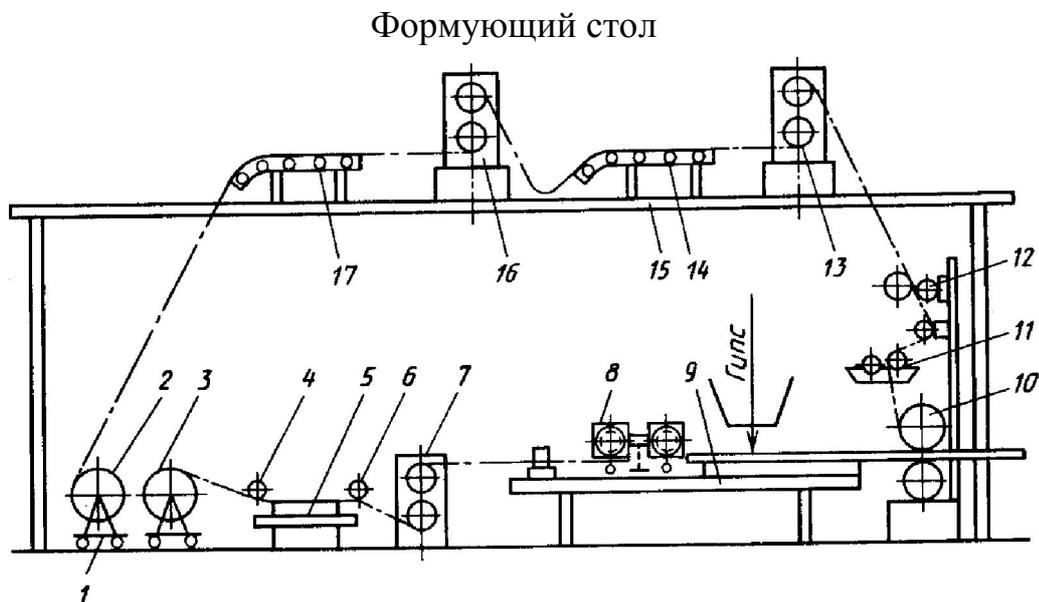


Рис. 15.1

На тележках 1 к формующему столу в бобинах 2 и 3 подаётся картон. Картон нижнего слоя с бобины 3 поступает на направляющий стол 5, где его прижимают роликами 4 и 6 для придания ему горизонтального положения. С направляющего стола картон проходит станок 7. На этом станке картон разрезают на полосы необходимой ширины. Обрезанные кромки удаляются. Далее движущаяся лента картона поступает на станок 8, где он подрезается двумя абразивными кругами, выбирающими канавки в листе картона. По выходе из станка подрезки картон

загибается краями кверху, образуя корытообразную емкость для последующего заполнения на столе 9 загрузки гипсовым тестом, поступающим непрерывным потоком из пропеллерной мешалки.

Картон верхнего слоя подается с бобины 2 на передний направляющий стол 17 и далее на станок 16 для обрезки кромок. Станок для обрезки картона соединен цепной передачей с тормозным станком 13, что обеспечивает синхронность вращения обоих станков. Тормозные станки предназначены для натяжения движущейся ленты картона и отличаются от станков для резки картона тем, что не имеют дисковых ножей.

Разрезанный картон поступает на задний направляющий стол 14 и далее на тормозной станок 13. Все оборудование для подготовки картона верхнего слоя смонтировано на верхнем ярусе каркаса 15 формующего стола. Пройдя тормозной станок, картон верхнего слоя поступает на станок 12 для шлифования абразивными кругами кромок картона для лучшего сцепления верхнего слоя картона с нижним и обеспечения качественной поверхности облицовочной плиты.

Картон с подготовленными кромками роликом клеевого станка 11 смазывается по кромкам жидким стеклом (или декстрином) и затем, огибая верхний формующий валок 10, направляется в зазор между формующими валками, где склеиваются верхний и нижний листы картона и окончательно калибруется гипсокартонная лента. Толщина листа сухой штукатурки регулируется зазором между формующими валками. Он должен иметь по всей длине валков строго определенный размер, так как нарушение этого требования приведет к выпуску гипсового листа различного по толщине (сечению).

## 15.2. Карусельная формовочная машина

Основными операциями в производстве гипсобетонных блоков являются приготовление гипсобетонной массы, содержащей воды 60-70% массы гипсового вяжущего, подготовка древесной фибры (опилок), являющейся наполнителем, формование и сушка блоков.

Из буферного склада гипс элеватором 1 (рис. 15.2) подается в накопительный бункер 2, откуда скребковым питателем поступает в винтовой конвейер 3. Туда же из бункера 4 подается ускоритель схватывания, в качестве которого применяют схватившийся гипс и, в частности, куски измельченных бракованных блоков. Древесная фибра, предназначенная для армирования и облегчения веса гипсобетонных блоков, подается в бункер 5, а оттуда тарельчатым питателем в винтовой конвейер 3, который обеспечивает предварительную сухую гомогенизацию смеси. Смесь разгружается в гипсобетоносмеситель 7 непрерывного действия, туда также подается вода из бака 6.

При формовании мелкогабаритных гипсобетонных блоков на карусельных машинах необходимо обеспечить сокращенные сроки схватывания гипса с целью получения нужной производительности машины. Для этого воду для затворения подогревают до 35-50°C, что ускоряет схватывание гипса и сокращает длительность сушки изделий.

Подготовленная гипсобетонная смесь заливается в формы карусельной машины 8, предварительно обработанные эмульсией, состоящей из смеси керосина

и мыла, что уменьшает схватывание гипсового вяжущего с металлической формой. Для этого же боковые дверки форм выполняют из металла (коррозионно-стойкой стали, латуни и др.), с которыми гипс слабо схватывается.

Карусельная формовочная машина – основной агрегат в производстве гипсовых блоков.

Технологическая схема производства гипсобетонных блоков

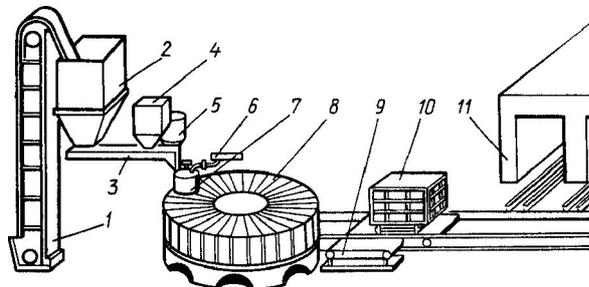


Рис. 15.2

Гипсобетонную смесь заливают в форму, установленную на столе карусельной машины. Смесь выдерживается в форме в течение времени, за которое стол совершает один оборот, что по времени соответствует сроку схватывания гипсового вяжущего материала. Стол машины вращается периодически: за каждый период стол поворачивается на  $\frac{1}{28}$  полного оборота. На столе машины расположено 28 форм.

После первой остановки стола форма обрызгивается эмульсией. После второй остановки в форму подается гипсобетонная смесь. В период от третьей до двадцать четвертой остановки происходит схватывание гипсобетонной смеси. После 25-й остановки раскрывается одна боковая дверка, после 26-й другая боковая дверка и передняя дверка, после 27-й дверки полностью опускаются и после 28-й блок выталкивается из формы. Производительность карусельной машины составляет 500 блоков в 1 ч.

Сформованные и схватившиеся блоки поступают на ленточный конвейер 9 и далее накапливаются на поперечном конвейере, откуда их партиями забирает пневматический манипулятор для укладки на сушильные вагонетки 10. Далее блоки направляются в тоннельную сушилку 11. Процесс сушки продолжается 18-20 ч.

Устанавливая на столе машины различные формы, можно изготавливать блоки размерами 800×400×100 или 800×400×80 мм. Блоки выполняют со сплошными или сквозными отверстиями. Сквозные отверстия образуются стержнями из труб (алюминиевых, латунных или из коррозионно-стойкой стали), прикрепленных к задним стенкам формы.

## 16. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

### 16. 1. Методы проектирования

Проект – технический документ, состоящий из чертежей, расчетов и пояснительной записки, в котором зафиксирована техническая информация, необходимая для строительства или реконструкции производства, оформленная в

установленном порядке и имеющая в соответствии с действующим законодательством правовое значение.

Информация, заложенная в проект, обеспечивает доказательность, целесообразность, обоснованность и доступность принятых решений. Решения должны быть научно обоснованными, технически реализуемыми, экономически целесообразными и экологически безопасными.

Разработчик проекта – инженер-проектировщик – несет моральную, профессиональную, административную и юридическую ответственность за достоверность, объективность реализуемых технических решений.

При проектировании используются графический, макетный и математический методы. Графический метод применяется давно. Чертежи изготавливаются вручную. Расчеты выполняются с помощью калькуляторов. Недостатками метода являются: трудоемкость, длительность, возможность появления ошибок при возрастании сложности разработок.

Макетный удобен для выполнения компоновки оборудования по этажам и отметкам здания, этажерке или площадке. Изготавливаются модели оборудования в масштабе от 1:10 до 1:50, которые размещаются на макете здания из прозрачного материала. В этой работе могут участвовать все специалисты (технологи, строители, теплотехники и т.д.). находят в результате очень быстро оптимальный вариант компоновки, удовлетворяющий различным требованиям. Чертежи с макета могут быть изготовлены затем фотоспособом. Трудоемкость и сроки проектирования при этом могут быть снижены на 15–25%.

Математический предусматривает выполнение всех расчетов на компьютерах, а чертежей – графопостроителем. Этот метод требует создания математических описаний всех процессов, материальных и энергетических связей между аппаратами, машинами и полной исходной информации. Компьютеры позволяют разработчику больше уделять внимания творчеству.

Проектирование считается комбинированным, если сочетает математический и графический методы (расчеты материальные, тепловые, механические и др. – на компьютере, а схемы, чертежи – вручную).

В зависимости от объема проектирования и изученности процессов компьютеры могут выполнять 25–70 общего объема работ, что сокращает сроки выполнения проекта и повышает точность. В последнее время широко используется при проектировании САПР (система автоматизированного проектирования), позволяющая свести к минимуму ручную работу, включая заполнение различных документов, ведомостей, спецификаций и т. д.

В процессе проектирования решаются задачи, которые можно разделить на 4 основные группы: технические, инженерные, проектно-технологические, изобретательские.

К техническим задачам относятся задачи решения конкретных вопросов с применением известных закономерностей (расчет толщины стенки аппарата, вала мешалки, диаметра болтов и т. д.).

К инженерным относятся задачи, требующие использования известных закономерностей различных наук (химии, физики, теплотехники и т. д.).

К проектно-технологическим относятся задачи – подбор оборудования для технологического процесса, выбор технологической схемы и др.

К изобретательским относятся задачи, когда требуется решать инженерно-технические проблемы с использованием новых закономерностей.

### *16.2. Виды проектов и стадии проектирования*

Проектирование предприятий в зависимости от их сложности ведется в одну или две стадии. Одностадийное проектирование занимает меньше времени. Используется для проектирования отдельных цехов и простых производств. При этом создается документ называемый «рабочим проектом». Двухстадийное проектирование где последовательными стадиями являются «проект» и «рабочая документация» применяют для сложных производств (например цементные заводы), когда взаимосвязано работает ряд цехов. Проект разрабатывается на основе ТЭО или ТЭР, где определяется порядок разработки ПСД (проектно – сметной документации). «Рабочая документация» (2 стадия) при двухстадийном проектировании составляется на основе «проекта».

«Рабочий проект» при одностадийном проектировании составляется также на основе ТЭО или ТЭР. Он представляет собой проект, совмещенный с рабочей документацией.

Разработка проекта осуществляется на основе задания на проектирование, утверждаемое заказчиком, который предоставляет все исходные данные.

Процесс проектирования можно разделить на 3 стадии: анализ, синтез и оценку (выбор).

1-ая стадия – анализ (дивергенция) это расчленение задачи на элементы, в частности поиск информации с целью отыскания максимального числа вариантов проектного решения.

2-ая стадия – творческий синтез (трансформация) идей в единое целое. Здесь сравнивают все варианты, оценивают критерии их отбора. При этом учитывают эксплуатационные, экономические и социальные аспекты проектных решений. Предпочтительно при выборе технологической схемы производства создавать ее из унифицированных элементов (технологических узлов, аппаратов). Эта стадия творческая и не поддается формализации.

3-я стадия – выбор (конвергенция) когда определена задача и установлены критерии оценки предлагаемых решений, из многих возможных вариантов решения выбирается, как правило, один, один, который и дорабатывается как основной.

Проектирование должно базироваться на двух принципах – эволюции – совершенствования существующего метода и технологии – и революции (переворота), когда создается принципиально новое, т.е. новое оборудование или технология на новых принципах. Однако следует иметь ввиду, что рискованно вносить непроверенные новинки в проекты, т.к. последствия от них могут быть отрицательными.

### *16.3. Организация проектирования*

Проектирование осуществляют проектные организации – генеральные, территориальные, головные, субподрядные.

Генеральные – это наиболее квалифицированные проектные институты. Как правило, они разрабатывают технологическую часть проекта. В качестве них

обычно выступают отраслевые институты. Генеральные проектные организации руководят и организуют разработку проекта в целом.

Территориальные (республиканские, областные) – готовят предложения по формированию промышленных узлов, схемы размещения новых предприятий, участвуют в выборе площадок для строительства по определенному району. Ведут согласование заданий на проектирование.

Головные – разрабатывают отдельные технические разделы проекта.

Субподрядные – выполняют отдельные части проекта по договору. В качестве них выступают специализированные проектные организации (Промстройсистема, Промтранспроект и др.).

Непосредственно проектными работами в проектной организации занимаются отделы или бюро – механотехнологический, теплотехнический, архитектурно-строительный, генплана и транспорта, сантехнический, сметно-финансовый, охраны природы, технический, вычислительный центр. Имеются вспомогательные отделы (бюро) – информации, архив, библиотека, типография, мастерские, патентный и др.

В проектировании участвуют более 20 специалистов разного профиля.

Техническое руководство проектными работами, согласование инженерных решений между отделами осуществляют ГИПы (главные инженеры проектов), которые назначаются по каждому проекту и несут ответственность за своевременность и качество его выполнения.

Инженер-химик-технолог, работающий в механотехнологическом отделе проектной организации, разрабатывает технологическую схему производства, выбирает оптимальный режим работы оборудования, рассчитывает материальные и тепловые балансы аппаратов и производства, подбирает оборудование, разрабатывает объемно-планировочное решение производства и размещение (компоновку) оборудования, готовит данные для разработки строительной части, автоматизации производства, экономических расчетов и др.

#### *16.4. Предпроектные работы*

До начала проектирования выполняется значительный объем подготовительных работ, выполняемых территориальными проектными организациями, заказчиком и проектными институтами.

Территориальные проектные организации ведут изыскания, разрабатывают предложения по размещению предприятий, участвуют в выборе площадки для строительства.

На технически сложные дорогостоящие объекты составляется ТЭО (технико-экономическое обоснование) строительства или реконструкции, а на менее дорогостоящие – ТЭР (технико-экономические расчеты).

ТЭО разрабатывают квалифицированные проектные организации по заказу министерства или предприятия за 2-3 года до начала строительства. Основанием для разработки ТЭО на новое строительство является документально подтвержденная потребность в каком-либо строительном материале или изделии при условии полного использования мощностей действующих предприятий. Баланс потребления и производства составляют отраслевые институты. Например, НИИСы, БелНИИС и др.

Выбор местоположения предприятия осуществляется с учетом общих принципов размещения:

- максимальной экономии общественного труда;
  - приближения производства к источникам сырья, топлива и районам потребления продукции;
  - равномерного размещения промышленности по территории республики;
- Одновременно учитываются такие факторы как:
- наличие природных ресурсов – сырья, топлива, воды и свободных земель;
  - экономические – дальность перевозок сырья и продукции, наличие транспортных магистралей, возможность кооперирования с другими предприятиями, потребление продукции;
  - трудовые – возможность обеспечения предприятия трудовыми ресурсами за счет местного населения;
  - требования к охране окружающей среды.

Указанные вопросы рассматриваются в комплексе в генеральной схеме развития производительных сил и в схеме районной планировки.

Выбор пункта строительства предприятия осуществляется с учетом максимальной приближенности к сырью и районам потребления с целью экономии на перевозках. При этом следует учитывать такие факторы, как:

- соответствие генеральной схеме размещения предприятий и районной планировке;
- наличие транспортных связей площадки с сетью железных дорог и автомобильных дорог;
- принадлежность земель и их пригодность для сельского хозяйства;
- размер и конфигурация площадки, возможность расширения предприятий;
- гидрологические и климатические условия (рельеф, средний уклон, наличие водных источников, уровень грунтовых вод, затопляемость и др.);
- удовлетворение техническим и санитарно-гигиеническим требованиям;
- условия получения энергии и протяженность трасс электро-, тепло-, газо-, водоснабжения и связи;
- условия сброса сточных вод и протяженность трасс хозяйственно-фекальных и ливневых стоков;
- наличие трудоспособного населения.

Кроме указанного учитывается и ряд дополнительных условий таких, как наличие др. полезных ископаемых, наличие газо- и нефтепроводов, линий электропередач, возможности кооперирования с др. строящимися предприятиями.

Выбором площадки занимается специальная комиссия, которая составляет акт об отводе земельного участка. Он согласуется со всеми заинтересованными и утверждается органами местной власти.

### *16.5. Разработка ТЭО на строительство или реконструкцию предприятия*

До начала проектирования нового объекта или реконструкции действующего предприятия составляется технико-экономическое обоснование (ТЭО) данного мероприятия.

ТЭО включает в себя следующие разделы:

1. Исходные положения;

2. Определение проектной мощности и специализация предприятия, обоснование ассортимента и требования к качеству выпускаемой продукции;
3. Обеспечение сырьем, основными материалами, топливом, энергоресурсами;
4. Обоснование размещения предприятия, схема генерального плана и транспорт;
5. Основные технологические решения предприятия;
6. Охрана окружающей среды;
7. Основные строительные решения;
8. Сроки строительства и основные решения по организации строительства;
9. Объем капитальных вложений и экономика строительства и производства;
10. Выводы и предложения.

В разделе 1 отражаются вопросы потребности и производства продукции для данного региона; характеристика роли нового предприятия в обеспечении роста мощностей или характеристика реконструируемого (расширяемого) действующего предприятия, оценка и анализ его деятельности, основные технико-экономические показатели его работы.

В разделе 2 проводится расчет мощности предприятия, который начинается с расчета мощности основного оборудования. В соответствии с принятой технологической схемой подбирают оборудование по каждому участку, цеху, отвечающее высшему техническому уровню.

Исходными расчетными единицами являются технические нормы производительности и время работы в течение года.

Определяют потребное количество оборудования в соответствии с объемом производства.

При определении мощности проектируемого предприятия учитывается обеспеченность сырьевыми и энергетическими ресурсами, и возможность реализации продукции при минимальных транспортных расходах .

Условием определения мощности предприятия является высокие технико-экономические показатели проектируемого или реконструируемого предприятия; в частности:

1. Общая экономическая эффективность капитальных вложений;
2. Срок окупаемости капитальных вложений, лет;
3. Коэффициент окупаемости дополнительных вложений.

В разделе 3 приводятся данные о сырьевой базе, требованиях к его качеству, способах подготовки, источниках получения других материалов, обосноваться источниками обеспечения электроэнергией, топливом, водой.

В разделе 4 приводятся варианты размещения предприятия, технико-экономическая оценка размещения, обосновывается оптимальный вариант его; даются сведения о климатических, инженерно-геологических и гидрологических условиях района; расположение новых и существующих зданий и сооружений, транспортных путей; ориентировочных объемных земельных работ и т.д.

В разделе 5 дается: обзор существующих технологических схем и способов производства и их сравнение, оценка рекомендуемой технологии и ее соответствие прогрессивным технологическим процессом; обоснование выбора оборудования; состав предприятия и схема производства, характеристику и обоснование

технических решений; требования к уровню механизации и автоматизации предприятия.

В разделе 6 определяется расчетный расход сточных вод и газовых выбросов, дается их характеристика и способы очистки, краткое описание запроектированных систем очистки сточных вод и газовых выбросов.

В разделе 7 содержатся требования к объемно-планировочным конструктивным решениям, краткую характеристику и обоснование архитектурно-строительных решений зданий и сооружений, предприятия в целом.

Раздел 8 содержит данные об объемах основных строительно-монтажных работ, материальной базе строительства, потребности в строительных материалах, источниках их получения, сроках начала и продолжительности строительства и освоения проектных мощностей.

Раздел 9 содержит расчеты по определению удельных капитальных вложений и основных фондов. Приводятся данные о численности персонала, источниках обеспечения рабочей силой, показатели производительности труда, себестоимость продукции. Дается их сравнение с показателями действующих предприятий.

В разделе 10 дается общая оценка целесообразности и хозяйственной необходимости проектирования и строительства.

#### *16.6. Разработка задания на проектирование, строительство или реконструкцию предприятия*

Разработка задания на проектирование, строительство или реконструкцию предприятия. Оно составляется в соответствии с ТЭО и технико-экономическими показателями, включая и затраты на строительство (реконструкцию).

В задании указываются:

- 1) наименование предприятия;
- 2) основание для проектирования, которым является включение его в список изыскательских и проектных работ, согласованных правительственными органами и наличие ТЭО.
- 3) район, пункт и место (площадка) строительства;
- 4) мощность производства и номенклатура продукции;
- 5) режим работы предприятия;
- 6) решение о производственном и хозяйственном кооперировании;
- 7) требования по защите окружающей среды и утилизации отходов производства;
- 8) данные о проектировании объектов жилищного и культурно-бытового строительства;
- 9) основные технико-экономические показатели, которые не должны быть ухудшены по сравнению с данными ТЭО;
- 10) намечаемые сроки строительства, порядок ввода мощностей по очередям и пусковым комплексам;
- 11) требования по разработке вариантов проекта;
- 12) стадийность проектирования;
- 13) генеральный проектировщик предприятия;
- 14) наименование и адрес строительной организации;

15) наличие согласования с территориальной проектной организацией;

16) дополнительные указания, которыми могут быть: разработка АСУ, намечается расширение предприятия, основные технологические процессы, оборудование и др.

К заданию прилагается:

- утвержденный акт о выборе площадки;

- архитектурно-планировочное решение;

- строительный паспорт, содержащий основные технические данные по земельному участку;

- технические условия на присоединение проектируемого предприятия и инженерными сетями коммуникациям;

- сведения о существующих застройке, подземных сооружениях, коммуникациях и др.

- необходимые данные по топливу, сырью, продукции, отчеты по ним, связанным с созданием новых технологических процессов и оборудования, данные по состоянию водоемов, атмосферного воздуха, почву и т.д.

Указанный состав задания может изменяться.

Задание затем утверждается в соответствующих инстанциях по утверждению проектов в министерствах, а затем правительством.

### *16.7. Проектирование (реконструкция) промышленного предприятия*

Проект – это чертеж или система чертежей, дающих обоснованное техническими расчетами, графическое отражение будущего здания, предприятия, сооружения и т.д.

В широком смысле проект (включая смету, являющуюся его частью) – это совокупность расчетных и графических материалов, обосновывающих техническую возможность, экономическую целесообразность и изображенное графически решение строительства (реконструкции) объекта.

#### *16.7.1. Разработка технического проекта*

В процессе проектирования последовательно решаются вопросы об общих задачах строительства (реконструкции) до частных, а именно от обоснования экономической целесообразности строительства до технологических и конструктивных решений.

Проектирование производится методом разборки вариантов, их сравнения, отбора лучшего по технико-экономическим показателям. Используются в максимальной степени типовые решения, что снижает затраты на проектные работы.

При проектировании тесно увязываются все части проекта: технологическая, архитектурно-строительная, транспортная, санитарно-техническая, энергетическая, коммунальная и др., т.е. предусматривается комплексность проектирования.

#### *16.7.2. Основные задачи технического проекта*

1. Выбор метода производства, отвечающего современному техническому уровню.

2. Выбор рациональных объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, эффективных строительных материалов.

3. Выбор рациональных схем потоков сырья и готовой продукции, механизация погрузочно-разгрузочных работ.

4. Рациональное использование выбранного земельного участка и выбор оптимального варианта генерального плана.

5. Обеспечение высокого технического и экономического уровня проектных решений.

6. Сокращение затрат на строительство и отражение в сметной документации действительно необходимых затрат на строительство.

### *16.7.3. Состав технического проекта*

Технический проект включает в себя следующие разделы:

- общая пояснительная записка с кратким изложением содержания проекта;
- технико-экономический;
- генеральный план и транспорт с разделом о рекультивации нарушенных земель;
- технологический;
- обеспечение энергоресурсами и защита окружающей среды;
- организация труда;
- строительный;
- организация строительства;
- подготовка и освоение проектных мощностей;
- сметный;
- паспорт проекта.

В технологической части проекта приводятся:

- 1) характеристика выпускаемой продукции, оценка качества и прогрессивности ее, обосновании эффективности продукции;
- 2) программа выпуска продукции;
- 3) схема производства и состав предприятия;
- 4) характеристика и обоснование технических решений и новых технологических процессов;
- 5) трудоемкость производственных процессов;
- 6) уточненные данные по предприятию о потребности в сырье, основных материалах, оснастке, топливе, электроэнергии, газе, воде;
- 7) межцеховые технологические коммуникации;
- 8) обоснование вспомогательных производств.

Состав, содержание и оформление основных разделов проекта (рабочего проекта) регламентируются СНиП 1.02.01-85 “Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения ПСД на строительство предприятий, зданий и сооружений”.

### *16.8. Основные принципы проектирования генеральных планов*

Генеральный план – основной документ по застройке выделенного участка. На нем указывается размещение основных производственных и вспомогательных

цехов и служб, складов, транспортных коммуникаций, связывающих различные цеха, инженерных сетей, систем хозяйственного и бытового обслуживания, а также расположение завода в промышленном районе или территориально- промышленном комплексе.

Задачи, решаемые в генеральном плане:

- экономное использование отведенной под строительство территории;
- минимальное влияние предприятия на экологическую обстановку района;
- оптимальное взаимное расположение цехов основного производства в соответствии с требованиями технологии;
- удобство подхода внешних инженерных сетей и коммуникаций к строительной площадке;
- рациональное размещение объектов энергообеспечения по отношению к основным потребителям энергии с целью снижения потерь энергии в сетях;
- обеспечение возможности последующего расширения предприятия, блокировки зданий и сооружений, ввода объектов по очередям строительства.

Проектирование генеральных планов предприятий регламентируется соответствующими ГОСТами и СНиПами, входящими в СПДС – “систему проектной документации для строительства”, представляющую собой сборник государственных стандартов.

Схема генерального плана создается на стадии подготовки исходных данных для выбора площадки под строительство.

Для составления генерального плана необходимо иметь:

- топографическую карту (основу) – план участка, выполненную по материалам геологической съемки с масштабом (1:5000; 1:1000; 1:500; 1:10000; 1:2000);
- ситуационный план (1:10000; 1:25000; 1:5000) представляющий собой план прилегающей к застраиваемому участку территории, с указанием дорог, существующих зданий, сооружений и т.п.

На генеральном плане предприятия выделяются четыре зоны: предзаводская, производственная, подсобная и складская.

Предзаводская зона размещается за территорией предприятия. На ней располагаются остановки пассажирского транспорта и стоянки личных автомобилей. В её сторону располагают фасады зданий заводоуправления, инженерного комплекса, проходной, столовой.

В производственной зоне размещений зданий и сооружений осуществляют относительно сторон света и господствующего направления ветров. Чистые по газовым выбросам производства, наиболее опасные в пожарном отношении участки располагают с подветренной стороны территории.

Плотность застройки территории должна быть максимальной (обычно от 0,22 до 0,5). Разрывы между зданиями и сооружениями определяются противопожарными и санитарными нормами и зависят от степени пожаро- и взрывоопасности производственных помещений. По классам СНиП помещения делятся на 6 категорий А, Б, В, Г, Д, Е. по степени огнестойкости самих зданий они делятся на 5 классов: I, II, III, IV, V.

В зависимости от огнестойкости соседних зданий расстояние между ними изменяется в пределах от 6 до 12 м.

Если на предприятии предусматривается железнодорожный транспорт, то вдоль него располагаются все склады сырья и вспомогательных материалов, готовой продукции.

Наиболее экономичным способом решения генерального плана является блокировка цехов. В одном крупном здании объединяются производственные, вспомогательные и складские помещения, а иногда административно-бытовые помещения. При этом сокращаются территория предприятия, длина инженерных сетей, транспортных коммуникаций, кабелей электропитания. Сокращается расход теплоты на отопление, капитальные затраты на строительство, численность обслуживающего персонала.

### *16.9. Типы зданий, виды этажей*

По назначению их делят на 3 группы:

- 1) гражданские;
- 2) промышленные;
- 3) сельскохозяйственные.

Гражданские – это жилые дома, общежития и др. общественные здания – клубы, театры, школы, больницы и т.п.

Промышленные – это фабрики, заводы, электростанции, котельные, депо, гаражи и т.п.

Сельскохозяйственные – это здания для содержания скота (животновод. фермы), склады удобрений, ядохимикатов, зернохранилища, здания для ремонта и хранения с/х техники и т.п.

Здания делятся на:

- 1) высотные или повышенной этажности (>9 этажей);
- 2) многоэтажные (>3 этажей);
- 3) малоэтажные (до 3-х этажей включительно).

В этажи включаются надземные этажи в т.ч. технический, мансардный, а также цокольный, если верх его находится выше отметки земли не < чем на 2 м.

Этаж – это помещения, размещающиеся в здании на одном уровне.

Различают этажи:

- 1) надземные – при отметке пола помещений не ниже планировочной отметки земли;
- 2) цокольные – при отметке пола помещений ниже планировочной отметки земли на высоту не более половины высоты помещения;
- 3) мансардные – этаж, размещенный внутри чердачного помещения;
- 4) технические – этаж, используемый для размещения инженерного оборудования и прокладки коммуникаций. Он может быть расположен в нижней (техническое подполье), верхней (технический чердак) или в средней части здания.

### *16.10. Основы проектирования производства*

Проектирование регламентируется нормативными документами СНиП, СН, ПЭУ и требованиями охраны труда и окружающей среды.

Проектирование начинается с разработки технологической схемы, т.к. она служит основанием для разработки всех других частей проекта. Этому

предшествует анализ различных способов производства и обоснование выбранного метода производства (это делается при разработке ТЭО).

Важнейшей задачей при этом является выбор сырья и способа его переработки. Для промышленности строительных материалов эта задача является наиболее актуальной, т.к. точка строительства промышленного объекта должна располагаться как можно ближе к месту добычи сырья.

Минимум исходной информации о способе производства включает:

- 1) параметры технологического процесса;
- 2) краткую характеристику основного технологического оборудования;
- 3) данные о предполагаемой мощности производства.

На основе их с помощью расчетов определяют:

- 1) потоки вещества и энергии;
- 2) тип и число единиц оборудования;
- 3) расход энергии;
- 4) персонал для обслуживания оборудования.

После выбора способа производства определяют нормы технологического режима:

- 1) основные и побочные химические и физические процессы;
- 2) механические операции;
- 3) последовательность процессов и операций;
- 4) оптимальные параметры режима на каждой стадии.

Проводят расчет материальных и тепловых балансов аппаратов, тепловых установок.

Затем разрабатывают схему материальных потоков и энергетических связей производства, на которой отдельные процессы и операции обозначают прямоугольниками и кружками в их последовательности, а потом линиями.

При выборе способа производства руководствуются такими соображениями, чтобы оно было:

- малогабаритным;
- малоотходным;
- были использованы принципы энерготехнологии;
- экологически чистым.

Затем проводится аппаратурное формирование производства:

1) выбирают тип машин, аппаратов, транспортных устройств для всех операций и процессов.

2) рассчитывают размеры и число единиц оборудования по заданной мощности технологической линии, производительности отдельных машин и аппаратов.

При выборе оборудования предпочтение следует отдавать стандартным или нормализованным машинам и аппаратам. Доля их должна быть не менее 75%.

При выборе оборудования сопоставительными характеристиками являются:

- удельная производительность (т/час, т/сут, т/год);
- ресурс работы (ч, год);
- стоимость (руб/шт.);
- удельные энергозатраты – расход энергии на ед. продукции (кДж/т, руб/т);
- стоимость ремонтов (руб/год);
- затраты на обслуживание (руб/год);

- строительные затраты ( $m^2$ , руб/  $m^2$ );
- надежность оборудования – вероятность безотказной работы в течение заданного времени;
- качество продукции;
- охрана труда;
- охрана природы.

Критерием оптимальности выбора является минимум затрат на единицу продукции.

После выбора и расчета основного и вспомогательного стандартного оборудования составляют технический проект нестандартного оборудования, к нему относятся: бункеры, мерники, хранилища, реакторы, конвейеры и др.

Технический проект разрабатывают механики совместно с технологами.

Расчет и подбор оборудования заканчивают разработкой обвязки технологических узлов, т.е. машины, аппараты или их группы. Обвязка – это комплекс трубопроводов и арматуры (задвижки, клапаны, вентили и т.д.).

После решения вопросов арматурного оформления и обвязки технологических узлов составляют полную технологическую схему производства и выдают задание на автоматизацию производства (детальная разработка схемы и подбор средств автоматического контроля и управления технологическим процессом).

### *16.11. Состав предприятия и размещение цехов*

Современное производство включает следующие группы объектов:

- 1) производственного назначения (состав их зависит от технологии и номенклатуры продукции);
- 2) подсобного и обслуживающего назначения (электроцех, ремонтно-механический цех, компрессорная, центральная заводская лаборатория, участок КИП, заводоуправление, инженерный корпус с центральным диспетчерским пунктом автоматической системы управления производством и библиотекой, столовая, административно-бытовой корпус, склады материалов, оборудования, горючего, мазута);
- 3) энергетического назначения (паросиловой ГРП и ГРУ, котлы-утилизаторы, теплопункты);
- 4) транспортного хозяйства (гараж, тепловозное депо);
- 5) водоснабжение и канализации (насосная станция, артезианские скважины, отделение водоподготовки котельных и др.).

К компоновке предъявляются следующие требования:

- 1) технологические – обеспечение проведение технологического процесса, управление обслуживания, обеспечение контроля и управления режимами;
- 2) конструктивные – возможность монтажа оборудования и доступность для ремонта;
- 3) охраны труда и окружающей среды – создавать благоприятные условия труда и минимальное загрязнение окружающей среды;
- 4) экономики – минимум капитальных затрат на установку и затрат на эксплуатацию.

Различают три способа размещения оборудования: каскадное, групповое, блочное.

Каскадное размещение, т.е. расположение машин и аппаратов на понижающихся по высоте отметках по ходу технологического процесса, применяются с целью использования силы тяжести для транспортировки твердых материалов или жидкостей. Такое размещение существенно уменьшает количество машин для вертикального транспорта, расход энергии на транспортировку и уменьшает площадь застройки. Например, может быть такая схема подготовки материала, как бункер – питатель дробилка (мельница) – грохот-конвейер. Недостаток каскадного размещения – увеличение высоты здания или этажерки, что приводит к увеличению их стоимости на единицу объема или площади.

Групповое размещение (зонирование) используют с целью реализации каких-либо требований к компоновке. Из всего оборудования выделяют группу однотипных машин, аппаратов и вспомогательных устройств или разнотипных, но технологически связанным между собой, которые отличаются общей особенностью: сложностью устройства и ремонта, опасностью выделения особо вредных или ядовитых веществ, пожароопасностью и взрывоопасностью или сильным пылением. Указанную группу единиц оборудования размещают в соответствии с требованиями компоновки. Например, насосы, компрессоры сложны по устройству, требуют квалифицированного обслуживания и ремонта; вращающиеся печи и вспомогательное оборудование к ним – отличаются газоотделением, пылением, объединяются единой системой подачи сырья, природного газа, отвода дымовых газов иногда от двух печей на одну трубу; мельницы сырьевые и цементные и т.д.

Как правило, в отдельную группу выделяется оборудование с повышенной пожаро- и взрывоопасностью, с тем, чтобы заранее предусмотреть меры локализации пожара и средства пожаротушения.

Блочная компоновка применяется с целью ускорения проектирования, транспортировки, монтажа оборудования. Все оборудование, необходимое для данного производства, разбивается на технологические узлы-блоки, которые связаны между собой технологическими и энергетическими потоками, каждый блок обеспечивает выполнение определенного технологического процесса.

Оборудование может размещаться на открытых площадках, на этажерках и в зданиях.

С точки зрения стоимости строительства, наиболее рационально размещать оборудование на открытых площадках, т.к. в этом случае нет затрат на постройку здания, отсутствует вентиляция, меньше затрат на освещение, легче осуществляется монтаж. Как правило, на открытых площадках располагают крупногабаритные аппараты, относительно простые по конструкции: вращающиеся печи, циклоны, электрофильтры, барабанные холодильники, шламбассейны. В тоже время на открытых площадках нельзя располагать сложные машины (компрессоры, насосы, трубные и др. мельницы, формовочное оборудование, автоклавы и др.), требующие частого и сложного ремонта.

Средства управления жидкими потоками (вентили, задвижки, клапаны) необходимо располагать в обогреваемых помещениях или кабинах, т.к. в зимнее время они могут давать сбои, отказы.

Этажерка – строительная конструкция, имеющая несколько этажей, в которой не предусматривается капитальных стен и крыши. Она позволяет располагать оборудование на различных отметках.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бауман В.А., Клушанцев В.В., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Машиностроение, 1981. – 324 с.
2. Журавлев М.Н., Фоломеев А.А. Механическое оборудование предприятий вяжущих материалов и изделий на их базе. - М.: Высшая школа, 1983. – 232 с.
3. Лоскутов Ю.А., Максимов В.М., Веселовский В.В., Механическое оборудование предприятий по производству вяжущих строительных материалов. – М.: Машиностроение, 1986. – 284 с.
4. Проектирование цементных заводов / П.В. Зозуля, Ю.В. Никифоров. – СПб.: Синтез, 1995. – 445 с.
5. Тетеревков А.И., Печковский В.В. Оборудование заводов неорганических веществ и основы проектирования. – Мн.: Вышэйшая школа, 1981. – 335 с.
6. Тетеревков А.И., Печковский В.В., Новосельская Л.В. Оборудование заводов неорганических веществ: Сб. примеров и задач. – Мн.: Вышэйшая школа, 1984. – 196 с.
7. Константопуло Т.С. Механическое оборудование заводов железобетонных изделий и теплоизоляционных материалов. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
8. Константопуло Т.С. Примеры и задачи по механическому оборудованию заводов железобетонных изделий. – М.: Высшая школа, 1986. – 304 с.
9. Силенок С.Г. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Стройиздат, 1987. – 304 с.
10. Силенок С.Г., Борщевский А.Л., Горбовец М.Н. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.
11. Банит Ф.Г., Несвижкий О.А. Механическое оборудование цементных заводов. – М.: Стройиздат, 1975. – 318 с.
12. Воеводский В.А. Машины и оборудование для производства асбестоцементных изделий. – М.: Стройиздат, 1973. – 184 с.
13. Строительные материалы: Справочник / Под. ред. А.С. Болдырева, П.П. Золотова. – М.: Стройиздат, 1989. – 567 с.
14. Будасов Б.В., Каминский В.П. Строительное черчение. – М: Стройиздат, 1990. – 464 с.
15. Методические указания и задания для курсового проектирования по дисциплине “Оборудование и основы проектирования” для студентов специальности 0806 заочного обучения: В 2-х частях. Часть I / Плышевский СВ., Куницкая Т.С., Мазуренко В.Д. – Мн.: БТИ, 1989. – 36 с.
16. Расчет технологических процессов и оборудования. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 25.08: В 2-х частях. Часть II / Плышевский СВ., Куницкая Т.С., Мазуренко В.Д. – Мн.: БТИ, 1990. – 14 с.
17. Методические указания по разделу “Расчет технологических процессов и оборудования” дисциплины “Оборудование и основы проектирования” для студентов-заочников специальности 25.08 / Плышевский СВ., Мазуренко В.Д. – Мн.: БТИ, 1988. – 35 с.

18. Борщевский А.С., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. – М.: Высшая школа, 1987. – 368 с.
19. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
20. Проектирование цементных и асбестоцементных заводов / М.Н. Крашенинников, Н.Н. Крашенинников, А.С. Кудрявцев и др. – Л. – М.: Издание лит. по стр-ву, 1966. – 350 с.
21. Орловский БЛ., Магай А.А. Основы проектирования гражданских и промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1980. – 240 с.
22. Трепененков Р.И. Альбом чертежей конструкций и деталей промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1980. – 284 с.
23. Перечень нормативно-технических документов по строительству действующих на территории Республики Беларусь. – Мн.: РУП “МинскТИПроект”, 2003. – 148 с.
24. СТП 001-2002. Проекты (работы) дипломные. Требования и порядок подготовки, представления к защите и защита. Взамен СТП 05.09.97. – Введен 01.04.2002. – Мн.: БГТУ. – 159 с.
25. Левицкий И.А. Основы проектирования с элементами САПР. Программа, методические указания и контрольные задания для студентов заочного обучения специальности 1-48. 01. 01. – Мн.: БГТУ, 2003. – 22 с.
26. Хавкин Л.М. Производство силикатного кирпича. – М.: Стройиздат, 1983. – 294 с.