

# СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ТОПЛИВА НА ТЭС

---

Лектор: доцент НОЦ И.Н. Бутакова Слюсарский К.В.

Технологии энергогенерации тепловых электростанций  
Томск, 2024

# Содержание лекции

- Подготовка топлива к измельчению
- Дробление топлива

# Твердое топливо ТЭС

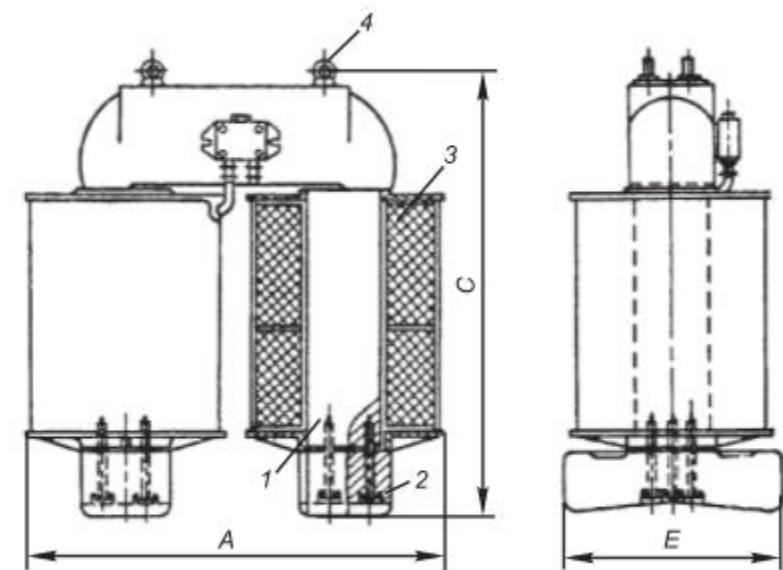
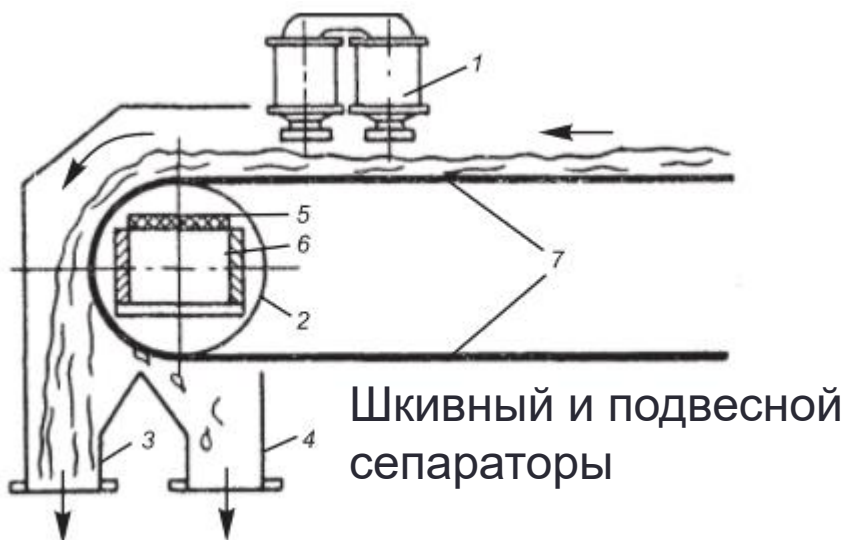
- Твердое топливо поступает на станцию в крупнокусковом виде, содержит остатки деревянной щепы и металлического лома. Для подготовки топлива требуется его размол в угольную субмиллиметрового или даже микронного размера.
- Для обеспечения надежной транспортировки топлива в трактах топливоподготовки требуется хорошая сыпучесть топлива, выраженная в естественном угле откоса (обычно, для сухого и умеренно влажного топлива он составляет  $40-50^\circ$ ), а также отсутствие смерзания. Для этого необходимо, чтобы доля адсорбированной влаги в нем составляла не более 8 масс.% для высококачественных каменных углей и не более 25 масс.% для бурых углей.

# Удаление лома и металла из топлива

Для удаления металла используются сепараторы, устанавливаемые на первую ленту транспортера.

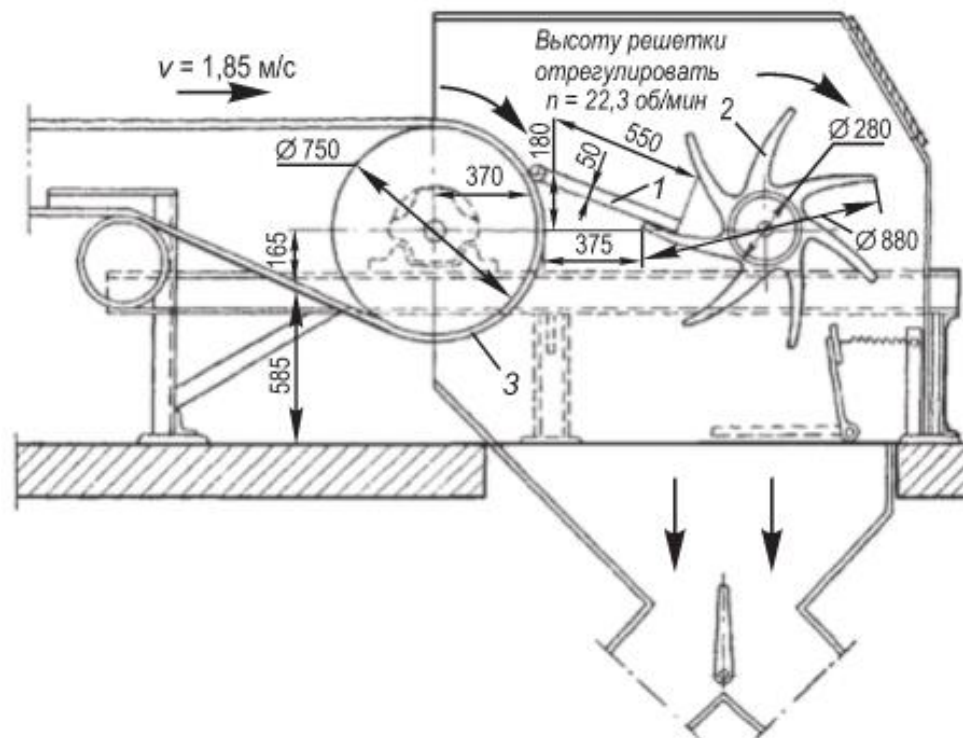
Характеристики:

- Производительность – 35-600 т/ч;
- Потребляемая мощность – 1-6 кВт;
- Удельный расход эл/эн – 0,01-0,02 кВтч/т угля.



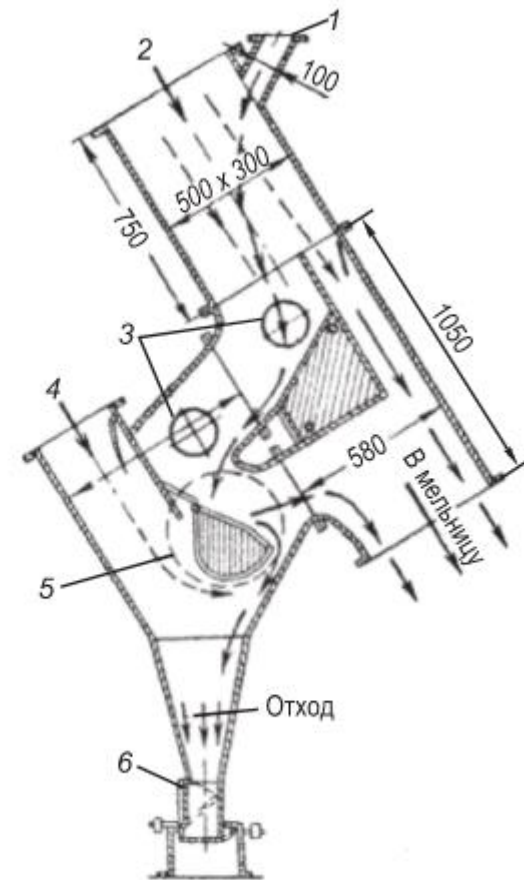
# Удаление древесины

- Удаление щепы осуществляется с применением специальных гребенок, устанавливаемых на оси барабана ленточного транспортера, а также путем установки специальных сит под мигалками циклонов пылеуловителей.



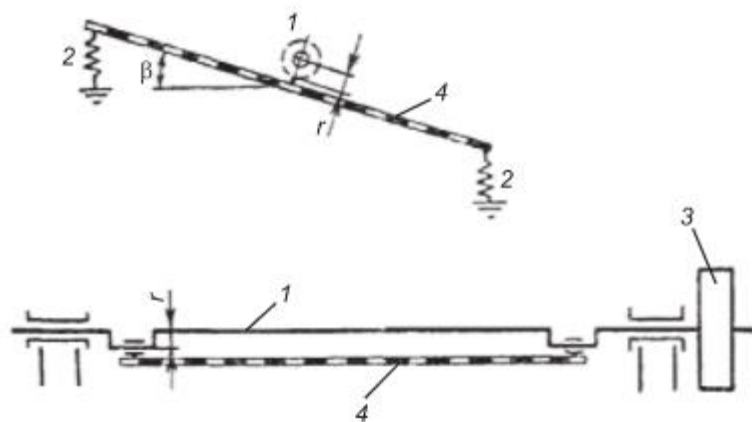
# Удаление колчедана

- Колчедан представляет собой соединение  $\text{FeS}_2$ . немагнитный, твердый, обладает большей по сравнению с углем плотностью и меньшей упругостью.
- Отделяется перед подачей топлива в мельницы.

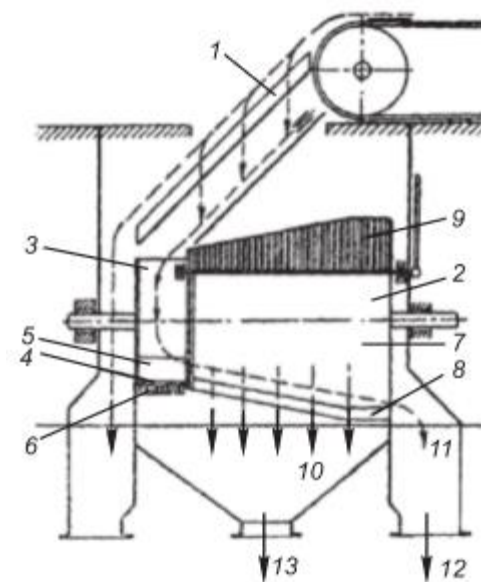


# Удаление мелочи - грохоты

- Удаление мелочи необходимо для снижения расхода электроэнергии на установки дробления топлива и снижения их забивания. В случае работы на влажном топливе, для избегания замазывания решеток, сеющее сито заменяется на трубки с подаваемым на них паром с температурой 115-130 °С.



Жирационный грохот

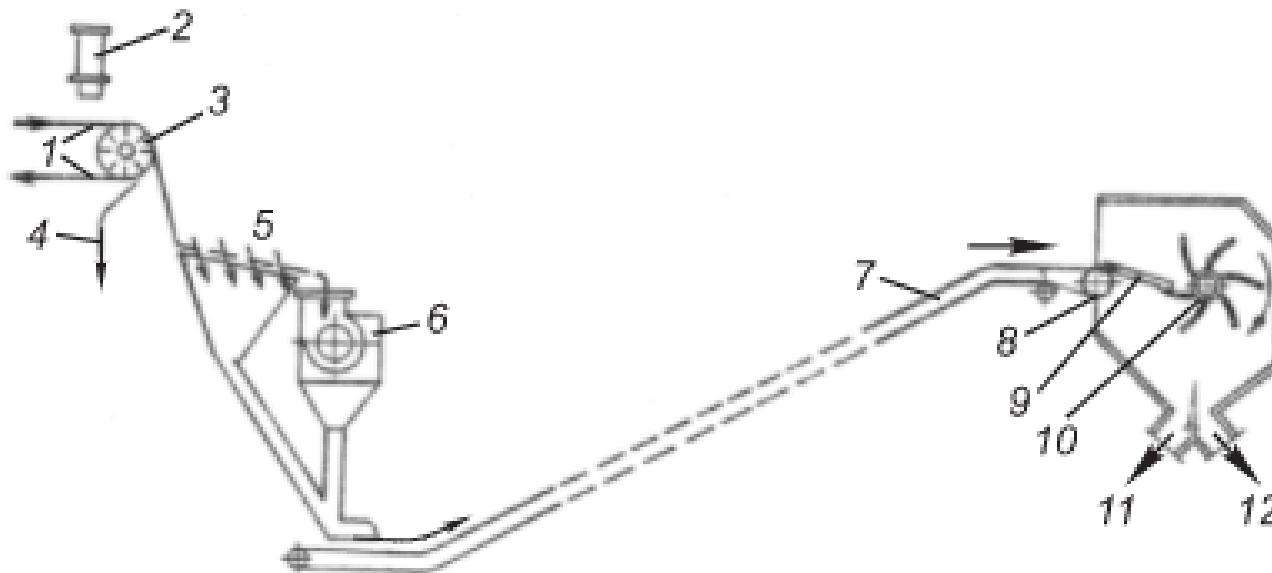


Барабанный грохот

# Схемы дробления

Для подачи топлива на мельницы для измельчения необходимо снижение их размеров до 15 мм, а для влажного топлива – до 25 мм.

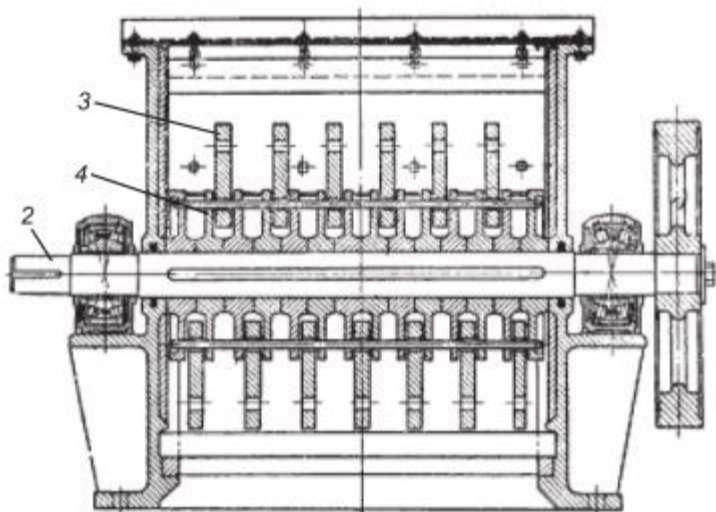
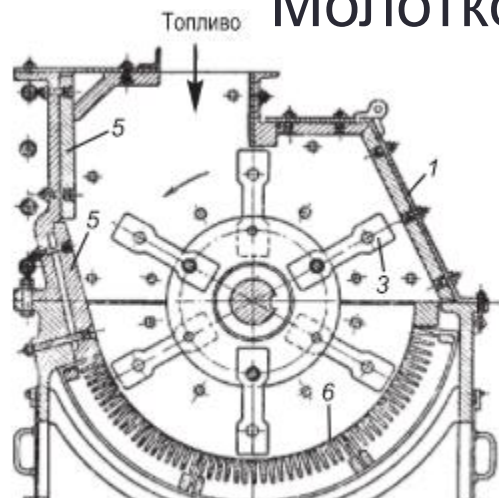
При поставке крупнокускового топлива на ТЭС(800-1000 мм) используется две стадии измельчения: первая до 200-250 мм, вторая – до 15-25 мм. При использовании мелкого топлива допускается подача топлива помимо дробилок.



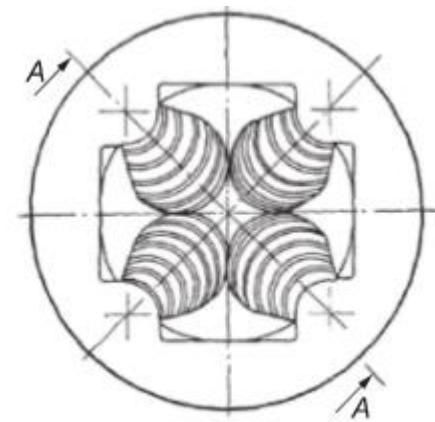
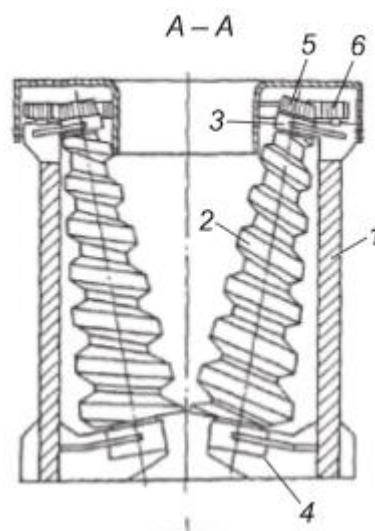
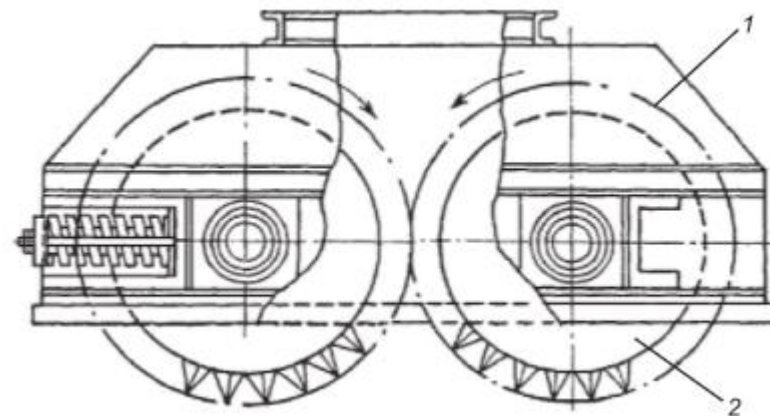


# Виды дробилок

## Молотковые



## Валковые

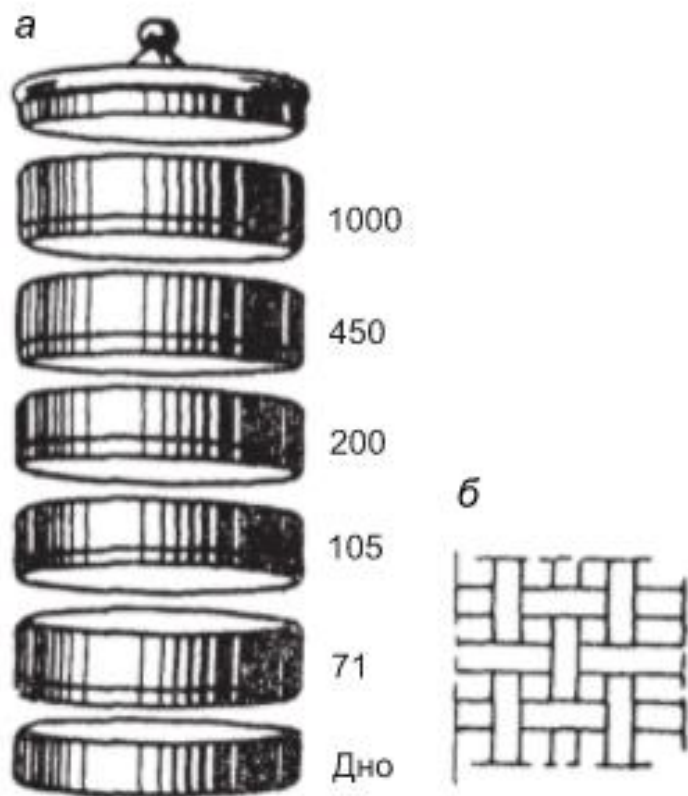


# Свойства угольной пыли

- Тонкость размола и дисперсный состав
- Поверхность пыли
- Тонкость размола
- Плотность пыли
- Влажность и подсушка топлива
- Абразивность топлива

# Тонкость размола

- Ситовой метод
- Лазерный диффракционный анализ



# Дисперсный состав топлива

$$R_x = 100 \cdot e^{b \cdot x^n}$$

$b$  – коэффициент размола пыли, варьируется от  $4 \cdot 10^{-3}$  до  $40 \cdot 10^{-3}$

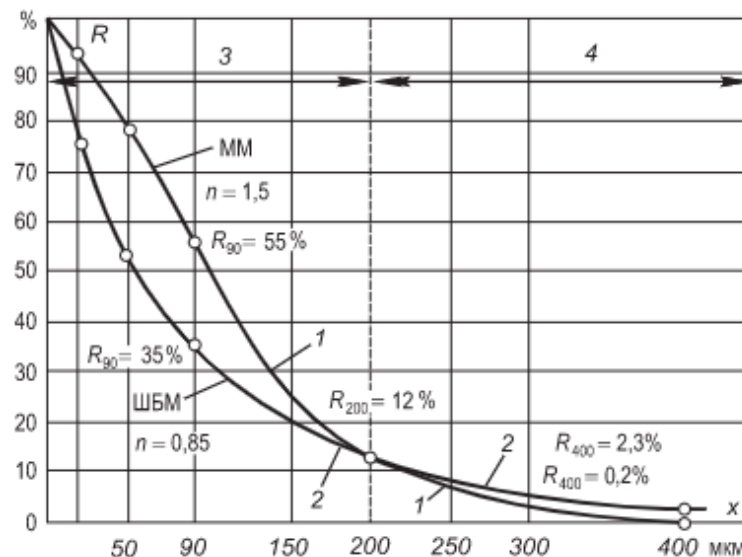
$n$  – коэффициент полидисперсности пыли:

- Для шаровых мельниц – 0,7-1,0;
- Для молотковых мельниц – 1,1-1,5;
- Для среднеходных мельниц с сепаратором – 1,1-1,3;
- В быстроходно-бильных и мельницах-вентиляторах – около 0,9.

$$n = \frac{\lg \ln \frac{100}{R_{200}} - \lg \ln \frac{100}{R_{90}}}{\lg \frac{200}{90}}$$

$$b = \frac{1}{90^n} \ln \frac{100}{R_{90}}$$

$$R_x = 100 \left( \frac{R_{90}}{100} \right)^{\left( \frac{x}{90} \right)^n}$$



# Поверхность пыли

- Площадь поверхности пыли влияет на энергозатраты на помол: чем больше площадь поверхности – тем больше энергозатраты.

$$f_{\text{теор}} = \frac{450}{\rho_{\text{квж}}} \frac{1}{n} \left( \ln \frac{100}{R_{90}} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad f_{\text{д}} = m_{\text{ср}} \cdot f_{\text{теор}}$$

- $m$  – коэффициент формы, зависящий от размера частиц

На практике может быть принят равным 1,75.

- Площадь поверхности связана с размером частиц. Для твердого топлива снижение размера частиц ниже 10-15 мкм нежелательно, но использование частиц размером больше 250 мкм (а 600-1000 мкм – для углей с большим содержанием летучих).

# Плотность пыли

- Насыпная плотность – отношение массы засыпки топлива к её объему. Варьируется в диапазоне 500-700 кг/м<sup>3</sup> для свежей пыли, в диапазоне 800-900 кг/м<sup>3</sup> – для уплотненной.
- Кажущаяся плотность – плотность частиц топлива с учетом пор и полостей. Зависит от типа топлива.
- Истинная плотность – плотность материала частиц топлива. Зависит от химического состава топлива.

$$\rho_{\text{нас}} < \rho_{\text{каж}} < \rho_{\text{ист}}$$

# Влажность топлива

- При высокой влажности топлива оно склонно к слеживанию и слипанию, а при низкой (особенно для реакционных бурых углей и т.п.) становится склонной к самовозгоранию. Для предотвращения самовозгорания необходимо иметь влажность на уровне гигроскопической влажности аналитической пробы.
- Для сушки используется воздух или дымовые газы с температурой до 130 °С. Чем выше реакционная способность угля – тем ниже допустимая температура сушки. Для одного вида топлива, допустимая температура дымовых газов для сушки будет больше, чем при сушке воздуха.

# Абразивность топлива

- Абразивность угля – величина убыли массы мелющих тел, выполненных из стали Ст3, отнесенная к единице подведенной к мельнице энергии.

$$U_{\text{э}} = \frac{\Delta G}{\Delta A}$$

$$K_{\text{абр}} = \frac{U_{\text{э}}}{U_{\text{эгр}}}$$

$$K_{\text{абр}} = \frac{U_{\text{э}}}{0,3}$$

По величине коэффициента абразивности угли делятся на:

- Угли высокой абразивности – высокозольные,  $K_{\text{абр}} > 2,3$ ;
- Угли средней абразивности – среднезольные,  $K_{\text{абр}} = 1-2,3$ ;
- Угли малой абразивности – малозольные,  $K_{\text{абр}} < 1$ .

Металл	Твердость	Средние величины относительной износостойкости	
		Смешанный износ (трением и ударом)	Ударный износ
Ст3	HB 140	1,0	1,0
40Г2	HB 220	2,0	1,8
Г13Л	HB 220	2,0	1,9
Отбеленный чугун	HRC60	4,0	2,35
Т-620 (наплавка)	HRC 62	6,5	2,4–2,0



# Размол топлива

Твердое топливо представляет собой хрупкий материал. Механизмы размола топлива – удар, раздавливание и истирание. Затраты энергии по закону Риттингера пропорциональны величине образующейся свободной поверхности:  $\mathcal{E}_{\text{пов}} = A(f_{\text{пл}} - f_{\text{др}})$

- Определение коэффициента  $A$  производится опытным путем и крайне проблематично.

$$\mathcal{E}_{\text{рзм}} = \mathcal{E}_{\text{пов}} + \mathcal{E}_{\text{упр.деф}} + \mathcal{E}_{\text{изн}} + \mathcal{E}_{\text{прив}}$$

Общий расход электроэнергии на размол топлива  $\mathcal{E}_{\text{рзм}}$  складывается из полезной затраты  $\mathcal{E}_{\text{пов}}$  на образование новых поверхностей пыли, т.е. собственно на измельчение (менее 5%), и из расхода энергии на потери, сопутствующие процессу размола, – на упругое деформирование частиц угля  $\mathcal{E}_{\text{упр.деф}}$ , износ поверхностей мелющих устройств  $\mathcal{E}_{\text{изн}}$  (сумма последних двух потерь составляет 70%) и на преодоление потерь трения в элементах приводного механизма от электродвигателя до мельницы  $\mathcal{E}_{\text{прив}}$  (около 25–30%).

## Коэффициент размолоспособности

- Коэффициент размолоспособности – отношение количества энергии, потраченной на размол исследуемого топлива, к количеству энергии, потраченной на размол эталонного топлива до такой же дисперсности.

$$G_r = \frac{\mathcal{E}_{\text{эт}}}{\mathcal{E}_i},$$

- Для расчета по методу ВТИ (для лабораторной мельницы длиной 210 мм и диаметром 270 мм с частотой 41,4 об/мин для пробы топлива в 500 г в течение 15 минут):

$$G_r^{\text{ВТИ}} = 2 \left( \ln \frac{100}{R_{90i}} \right)^{2/3}$$

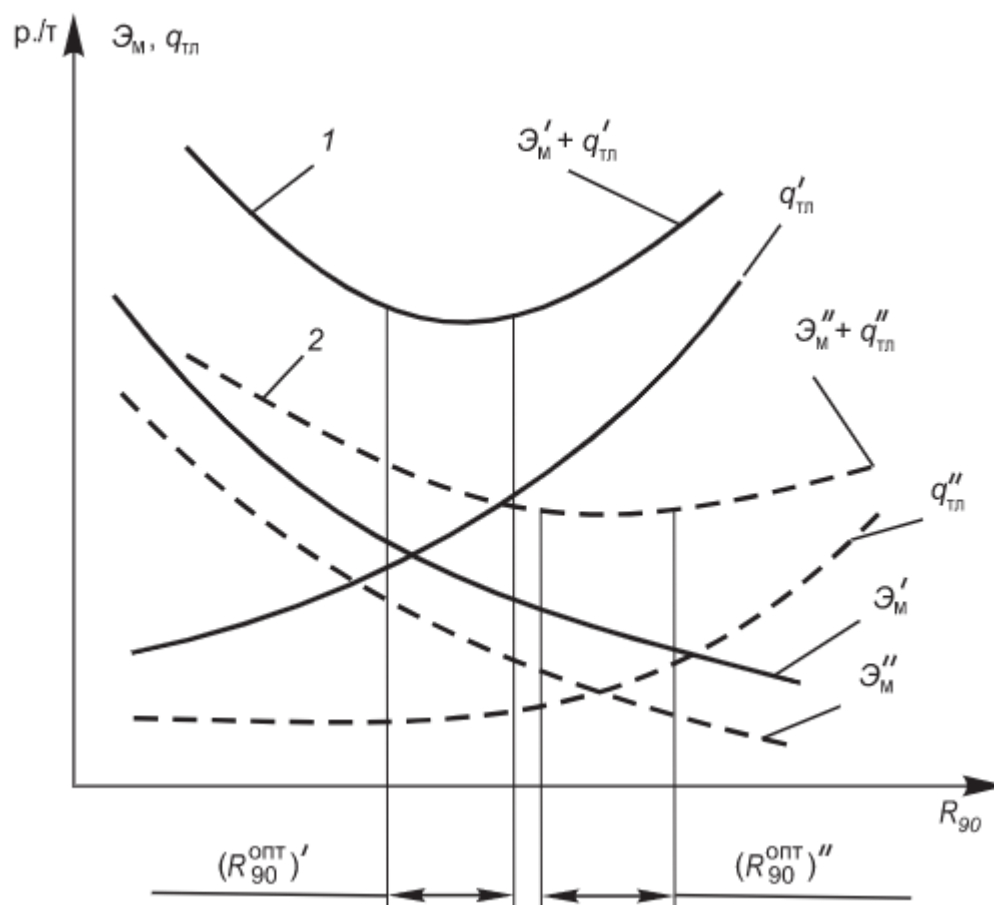
# Оптимальная степень размола

- Оптимальная степень размола определяется по величине характеристики  $R_{90}$ .

$$R_{90}^{\text{опт}} = 4 + 0,8nV^{daf}$$

$R_{90\text{опт}}$ :

- В шаровых:
  - А – 6-7 %;
  - Т – 8-10 %;
  - Каменный – 20-25 %;
  - Бурый – 30-40 %;
- В молотковых:
  - Бурые – 55-60 %;
  - Каменные – 25-30 %;
  - Сланцы – 35-40 %.



# Классификация мельниц

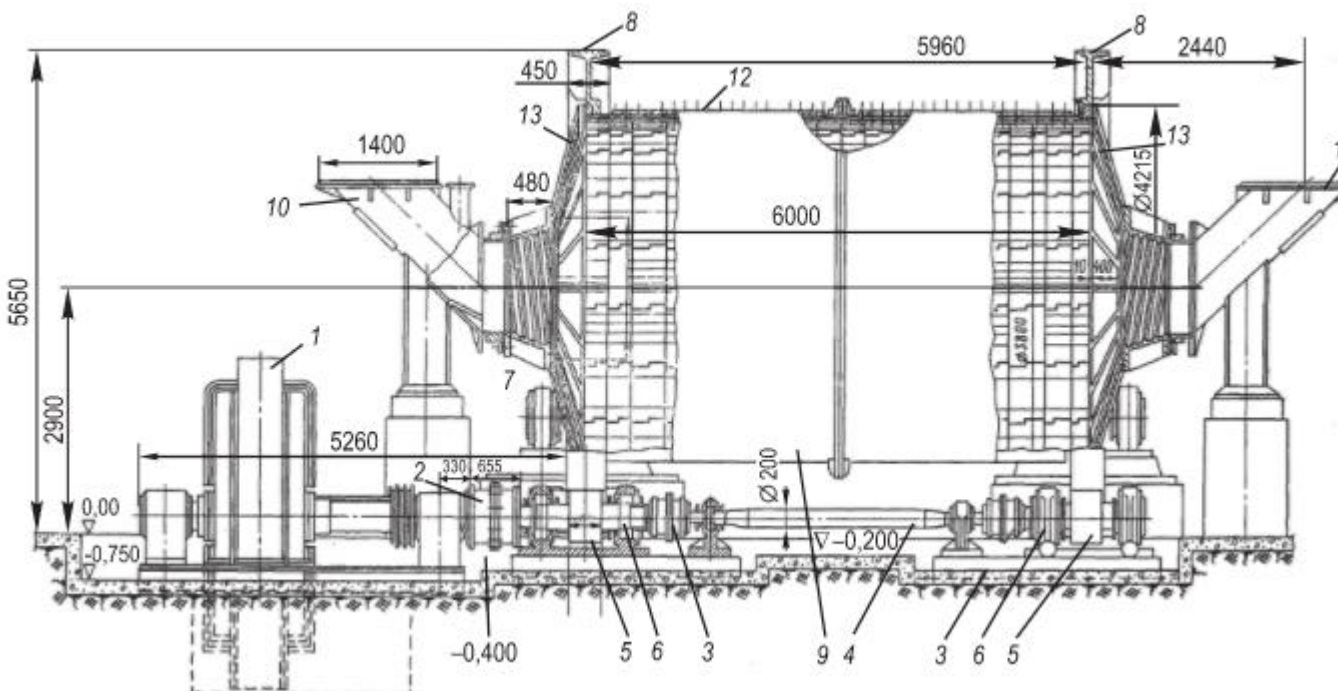
Типы мельниц по частоте вращения:

- Тихоходные – 16-24 об/мин;
- Среднеходные – 50-300 об/мин;
- Быстроходные – 600-1500 об/мин.

Типы мельниц по виду мелющего тела:

- Шаровые барабанные
- Молотковые
- Среднеходные
- Быстроходные-бильные
- Мельницы-вентиляторы

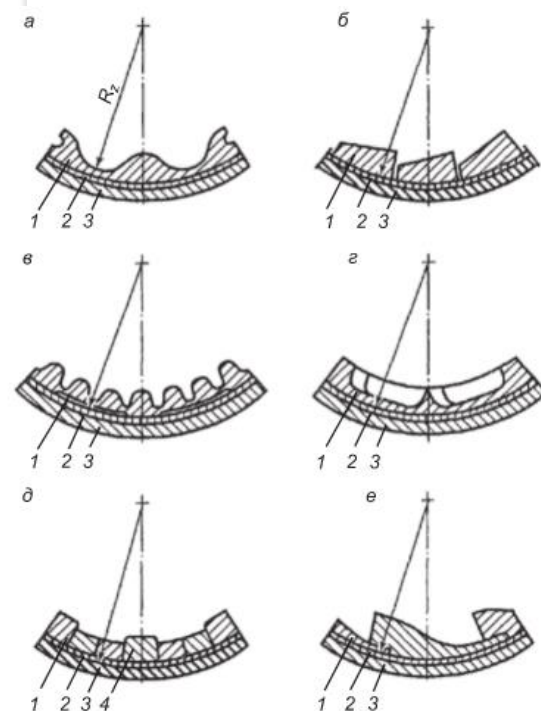
# Шаровая мельница (тихоходная)



$$n_{кр} = \frac{42,3}{\sqrt{D_6}}, \text{ об/мин}$$

$$n_{онт} = \frac{32}{\sqrt{D_6}}, \text{ об/мин.}$$

Область рационального использования:  
очень твердые и абразивные угли,  
низкорреакционные угли с малым выходом  
летучих веществ, требующие тонкого  
помола, высокозольные и сернистые  
угли.

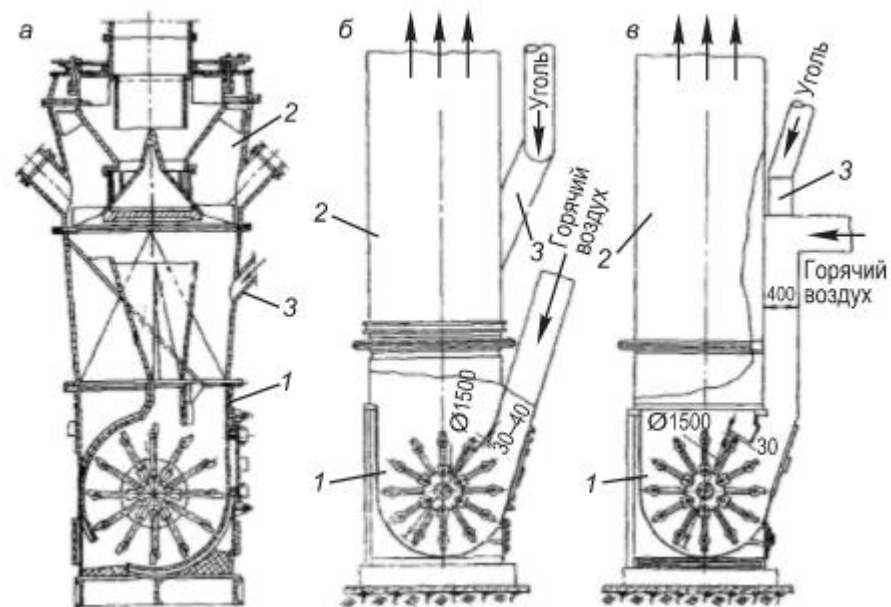
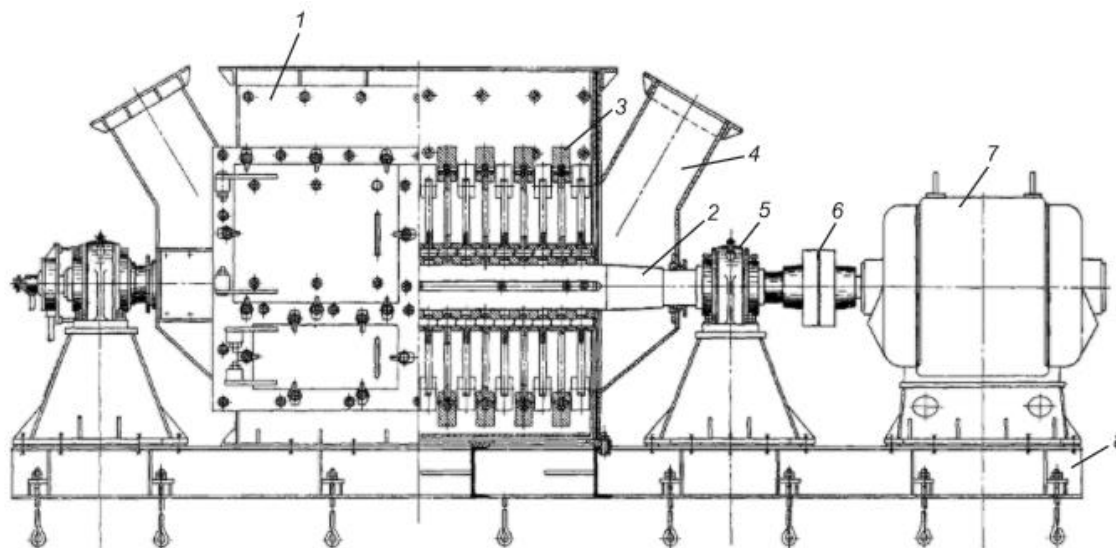


# Молотковая мельница (быстроходная)

$$W_{\text{с.в}} = \frac{V_{\text{с.в}}''}{3600 D_p L_p},$$

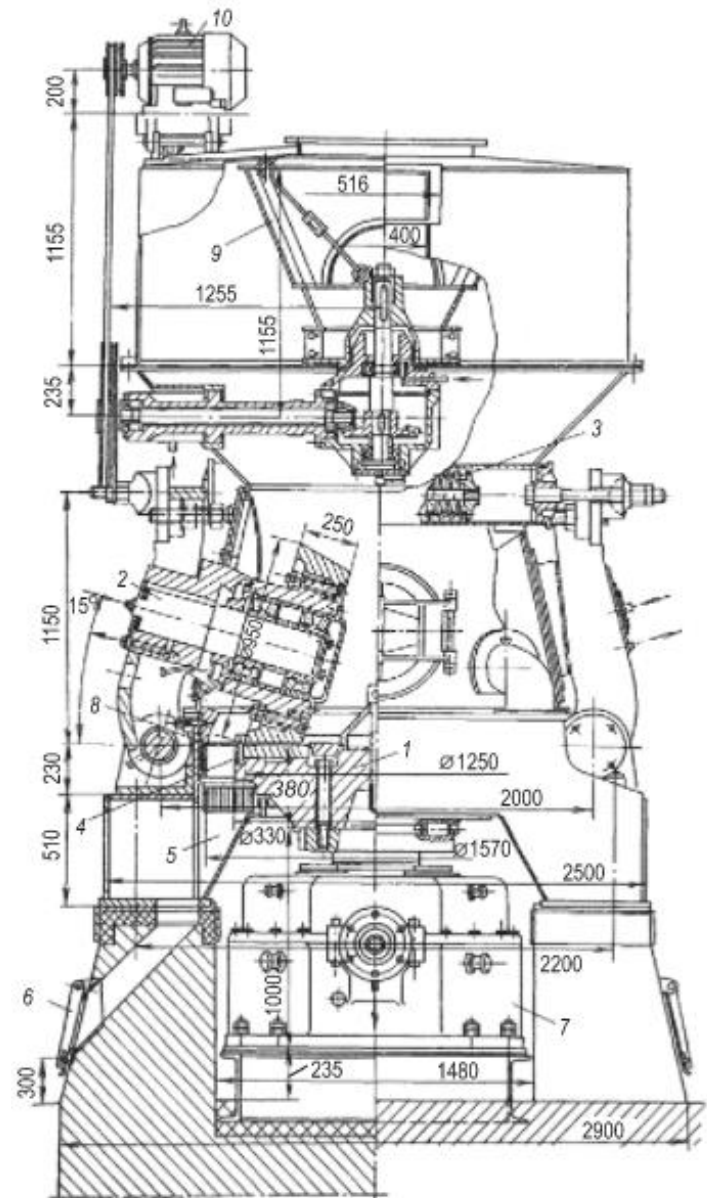
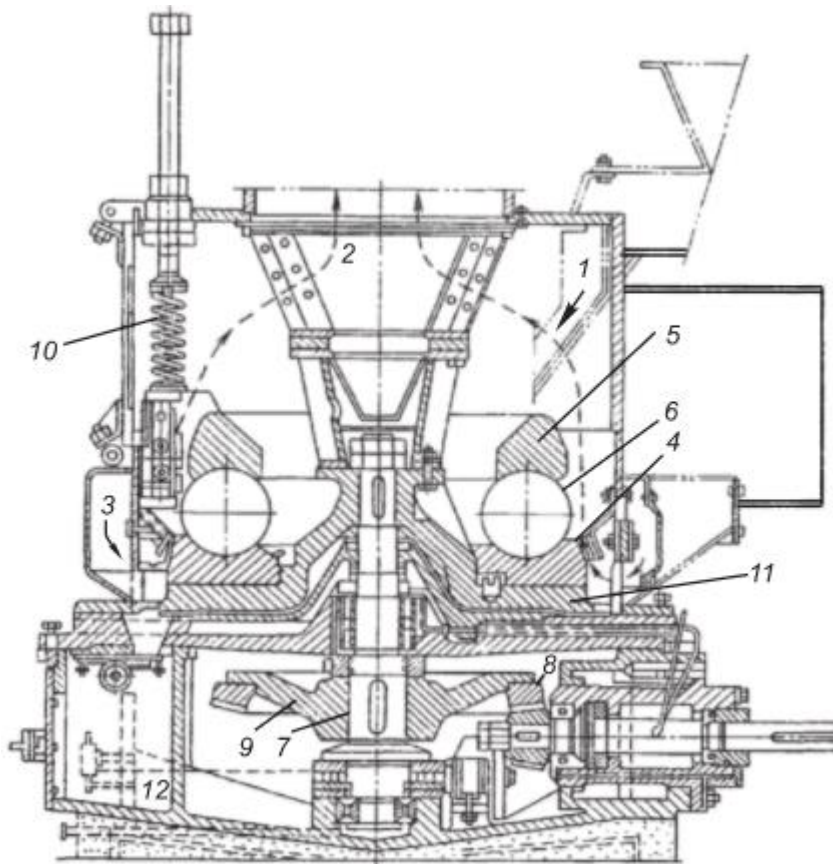
Область рационального использования: размол высокорекреакционных топлив.

Низкие энергозатраты, простота конструкции и компактность установки. Молотковые мельницы используются для котлов прямого вдувания.





# Шаровые и валковые мельницы (среднеходные)

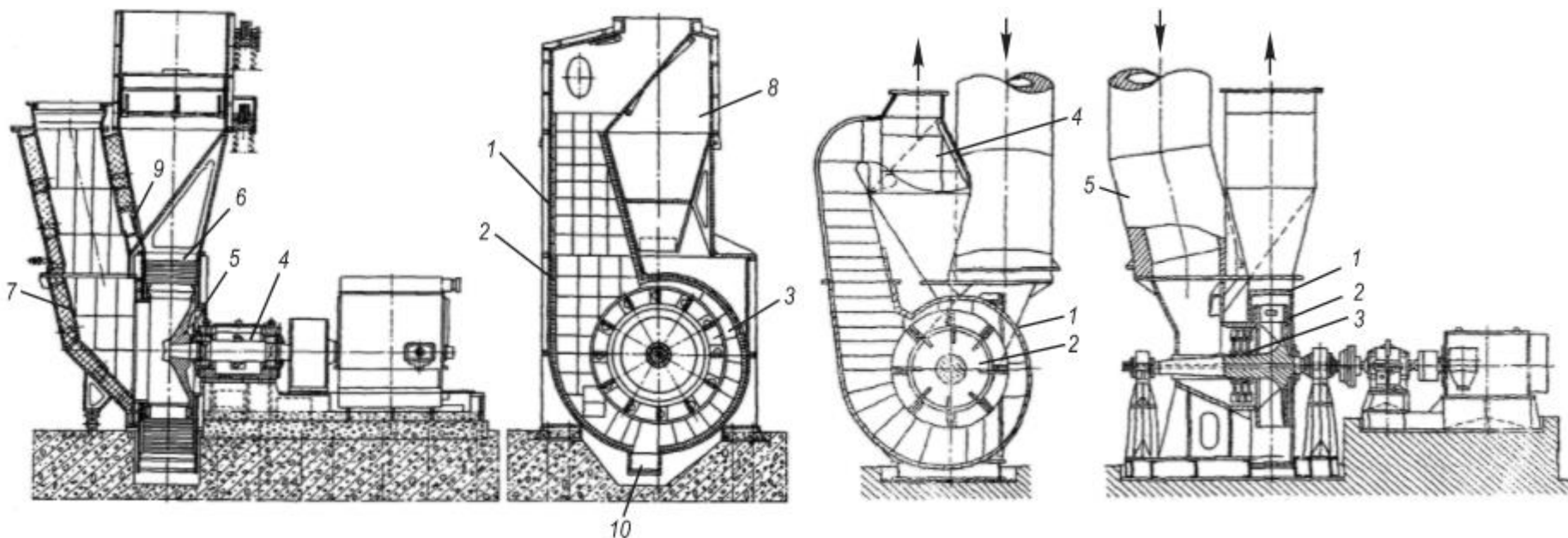


## Шаровые и валковые мельницы (среднеходные )

- Данные мельницы являются достаточно экономичными, на уровне молотковых мельниц. Недостаток – сложность конструкции и повышенные затраты на ремонт. Область рационального применения – сухие каменные угли с тонкостью помола  $R_{90} = 10 - 35 \%$ .



# Мельницы-вентиляторы (быстроходные)



- Мельницы-вентиляторы применяются для размола мягких бурых углей и торфа, для высоковлажных мягких бурых углей и лигнинов.
- Достоинства – простота конструкции и компактность.
- Недостатки – ограниченность применяемых видов топлива, малая экономичность.

# Системы приготовления пыли

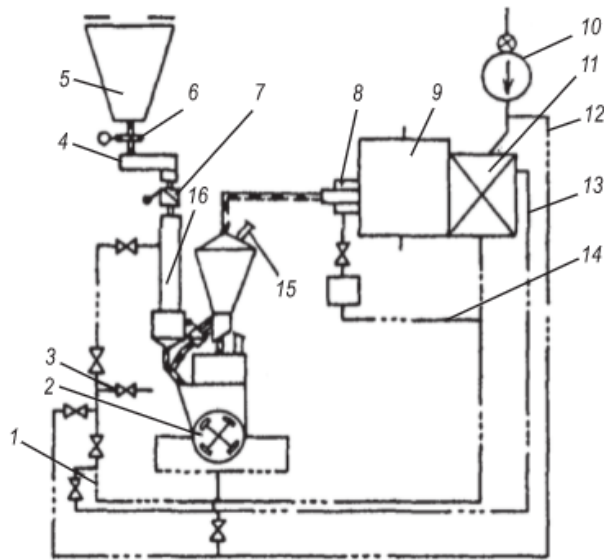
## 1. Индивидуальные системы

Индивидуальные пылесистемы связаны с котлом по сушильному агенту и готовой пыли.

- Делятся на схемы:
  - С прямым вдуванием (пыль из мельниц идет в топку);
  - С промбункером (пыль собирается в бункере пыли);
- По обращению с сушильным агентом:
  - Замкнутая – агент подается с пылью в топку;
  - Полуразомкнутая – агент подается в сбросные горелки;
  - Разомкнутые – агент сбрасывается в атмосферу.
- По виду сушильного агента:
  - Воздушные
  - Газовоздушные
  - Газовые

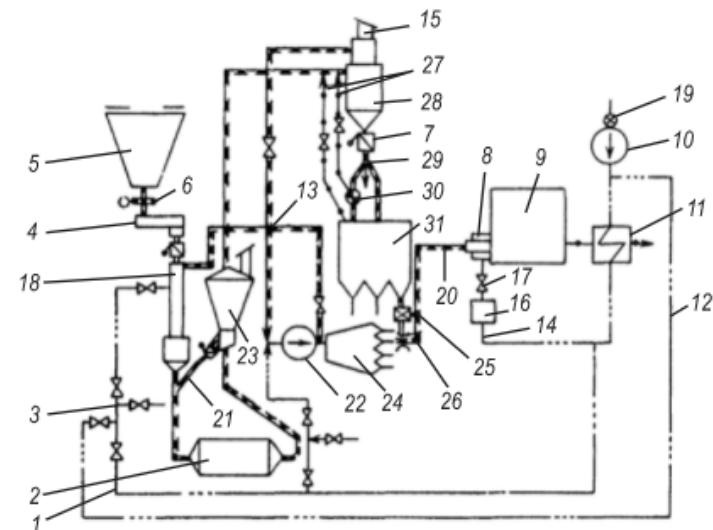
# Системы приготовления пыли

## 1. Индивидуальные системы



*Рис. 2.29.* Индивидуальная система пылеприготовления прямого вдувания с молотковыми мельницами и воздушной сушкой:

1 – короб горячего воздуха; 2 – мельница (с сепаратором); 3, 12 – присадка холодного воздуха; 4 – питатель сырого топлива; 5 – бункер сырого топлива; 6 – шиберы; 7 – клапан-мигалка; 8 – горелка; 9 – котел; 10 – дутьевой вентилятор; 11 – воздухоподогреватель; 13 – присадка слабонагретого воздуха; 14 – короб вторичного воздуха; 15 – взрывной клапан; 16 – устройство нисходящей сушки



*Рис. 2.30.* Индивидуальная система пылеприготовления с промежуточными бункерами (замкнутая) и с транспортом пыли сушильным агентом и сушкой горячим воздухом:

1 – короб горячего воздуха; 2 – мельница (с сепаратором); 3, 12 – присадка холодного воздуха; 4 – питатель сырого топлива; 5 – бункер сырого топлива; 6 – шиберы; 7 – клапан-мигалка; 8 – горелка; 9 – котел; 10 – дутьевой вентилятор; 11 – воздухоподогреватель; 13 – трубопровод рециркуляции; 14 – подвод вторичного воздуха; 15 – взрывной клапан; 16 – общий короб вторичного воздуха; 17 – шибер; 18 – устройство нисходящей сушки; 19 – направляющий аппарат вентилятора; 20 – первичный воздух с пылью; 21 – течка возврата топлива; 22 – мельничный вентилятор; 23 – сепаратор; 24 – коллектор сушильного агента (первичного воздуха); 25 – питатель пыли; 26 – смеситель; 27 – трубопровод влагоотсоса; 28 – циклон; 29 – перекидной шибер; 30 – реверсивный шнек; 31 – пылевой бункер

# Системы приготовления пыли

## 2. Система центрального пылезавода

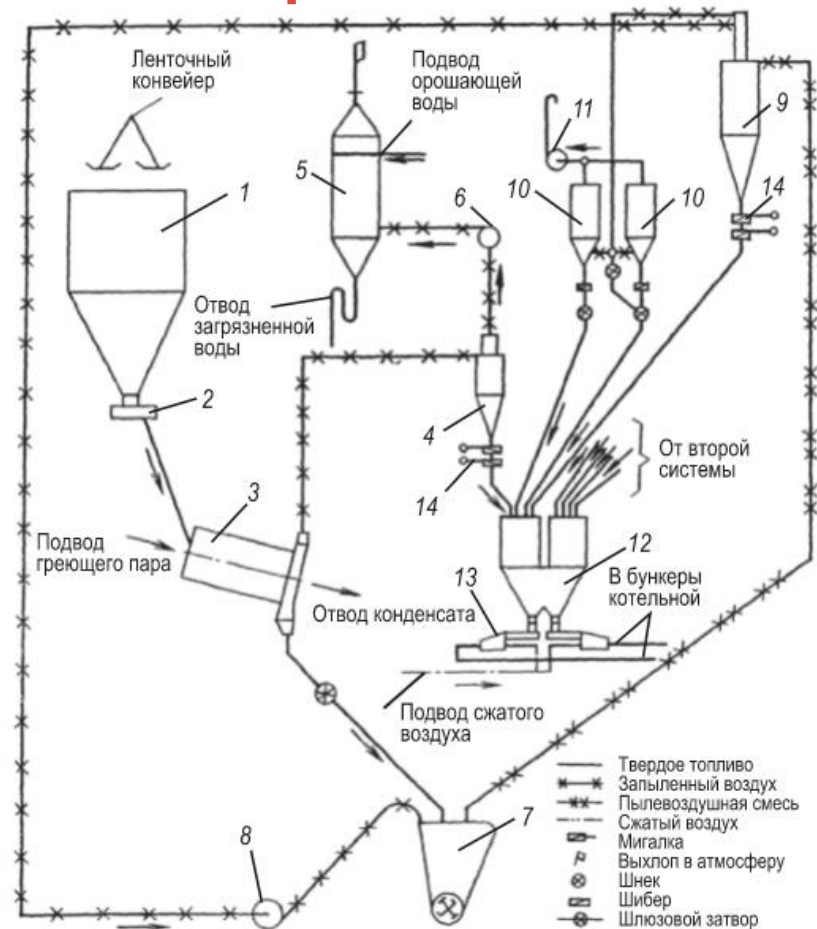


Рис. 2.31. Схема центрального пылезавода для бурых углей при паровой сушке и размоле в молотковых мельницах:

1 – бункер сырого угля; 2 – питатель; 3 – барабанная трубная сушилка; 4 – циклон; 5 – скруббер (мокрые шахты); 6 – сушильный вентилятор; 7 – молотковая мельница; 8 – мельничный вентилятор; 9 – циклон; 10 – рукавный фильтр; 11 – дополнительный вентилятор; 12 – пылевой бункер; 13 – киньон-насосы; 14 – клапан-мигалка

# Выбор оборудования систем пылеприготовления

Тип мельницы	Топливо	Система пылеприготовления
ШБМ	Антрацит, полуантрацит	Замкнутая с бункером пыли
	Продукты обогащения угля	Замкнутая с бункером пыли
	Кузнецкий каменный СС	Замкнутая с прямым вдуванием
	Тощий каменный	Замкнутая с прямым вдуванием
ММ	Березовский Б, Назаровский Б, Кузнецкий Т	Разомкнутая с промбункером и газовой сушкой
	Экибастузский каменный	Замкнутая с прямым вдуванием
	Ирша – Бородинский Б	Замкнутая с прямым вдуванием
	Райчихинский Б	Замкнутая с прямым вдуванием
	Кузнецкий каменный Г и Д	Замкнутая с прямым вдуванием
СМ	Экибастузский каменный	Замкнутая с прямым вдуванием, воздушной сушкой
	Кузнецкий каменный	Замкнутая с прямым вдуванием, воздушной сушкой
	Китайский, Тунгусский каменные	Замкнутая с прямым вдуванием, воздушной сушкой
МВ	Березовский Б	Замкнутая с прямым вдуванием, газовой сушкой
	Ангренский Б, Югославский Б	Замкнутая с прямым вдуванием, газовой сушкой
	Харанорский Б	Замкнутая с прямым вдуванием, воздушной сушкой
	Лигниты югославские	Замкнутая с прямым вдуванием, воздушной сушкой

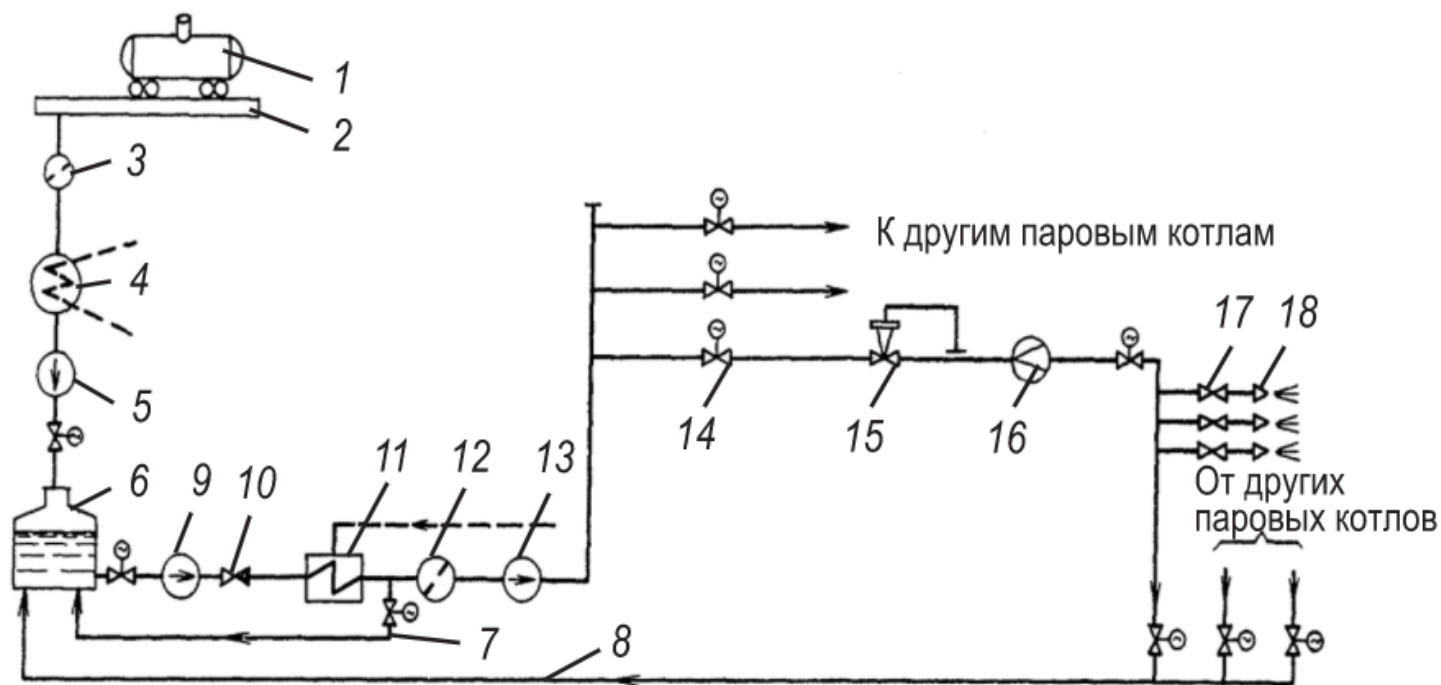
Число мельниц  $z_M$ , устанавливаемых на котел, определяется их типом, системой пылеприготовления и паропроизводительностью котла. Необходимая единичная производительность мельницы  $B_M$  в пылесистемах с промбункером определяется количеством мельниц и принимаемым коэффициентом запаса:

$$B_M = B_K k_{\text{зап}} / z_M, \quad (2.33)$$

где  $B_K$  – расход топлива на котел, т/ч.

Коэффициенты запаса  $k_{\text{зап}}$  для ММТ и СМ: при двух мельницах – 1,35, при трех – 1,2, при четырех и более – 1,1; для ШБМ  $k_{\text{зап}} \geq 1,1$ .

# Схема подготовки мазута



*Рис. 2.44.* Технологическая схема подготовки мазута на электростанции: 1 — цистерна с мазутом; 2 — сливное устройство; 3 — фильтр грубой очистки; 4 — сливной резервуар с подогревом; 5 — перекачивающий насос; 6 — основной резервуар; 7, 8 — линии рециркуляции мазута; 9 — насос первого подъема; 10 — обратный клапан; 11 — подогреватель мазута; 12 — фильтр тонкой очистки; 13 — насос второго подъема; 14 — запорная задвижка; 15 — регулятор расхода; 16 — расходомер; 17 — задвижка; 18 — форсунка



# Схема подготовки газа

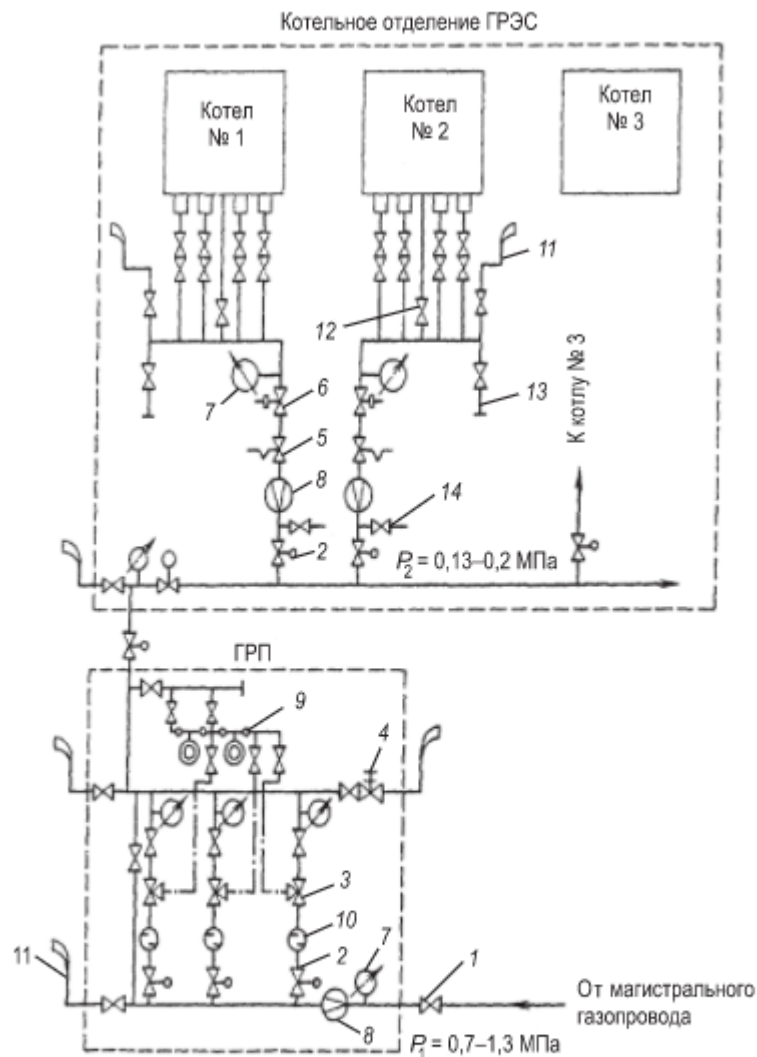


Рис. 2.45. Схема газоснабжения электростанции:

1 – задвижка с ручным управлением; 2 – задвижка с электроприводом; 3 – регулятор давления газа; 4 – предохранительный клапан; 5 – регулятор расхода газа; 6 – отсекающий быстродействующий клапан; 7 – манометр; 8 – расходомер; 9 – задатчики регуляторов давления; 10 – фильтр; 11 – продувочная свеча; 12 – подвод газа к запальнику горелок; 13 – дренаж; 14 – отбор газа на анализ

Спасибо за  
внимание!