

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ДОМЕННОГО  
ПРОИЗВОДСТВА**

В доменных печах производится чугун путем восстановления содержащихся в руде оксидов железа.

Восстановители:

- углерод кокса;
- оксид углерода  $\text{CO}$ , образующийся в печи;
- водород  $\text{H}_2$ , выделяющийся при разложении углеводородов, содержащихся в природном газе, вдуваемом в печь.

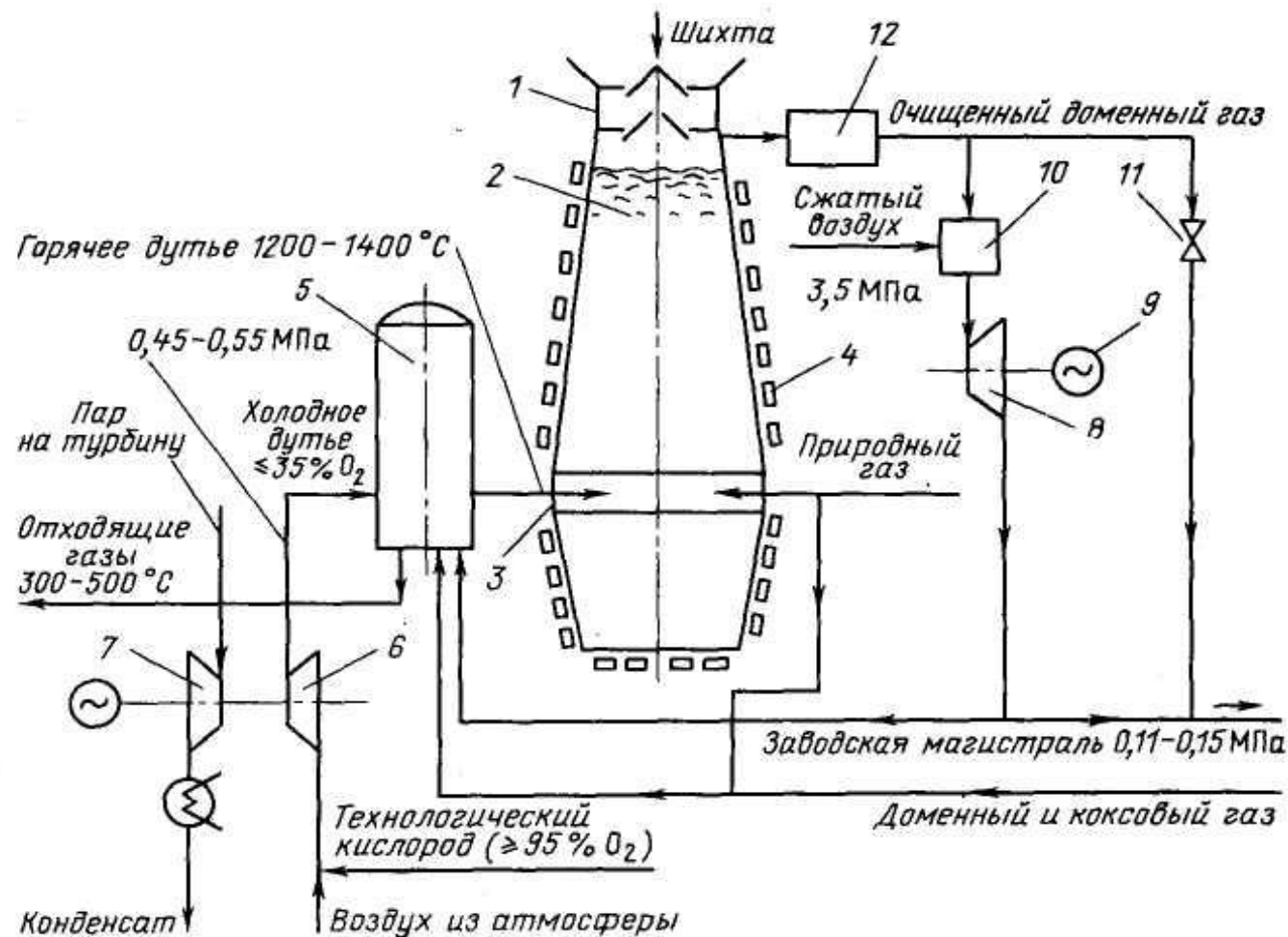
Кокс является компонентом шихты, обеспечивающим и газопроницаемость ее высокого слоя. Куски кокса должны иметь размеры около 25 мм.

Производительность доменных печей (ДП) зависит в основном от их полезного объема.

В настоящее время крупные ДП имеют:

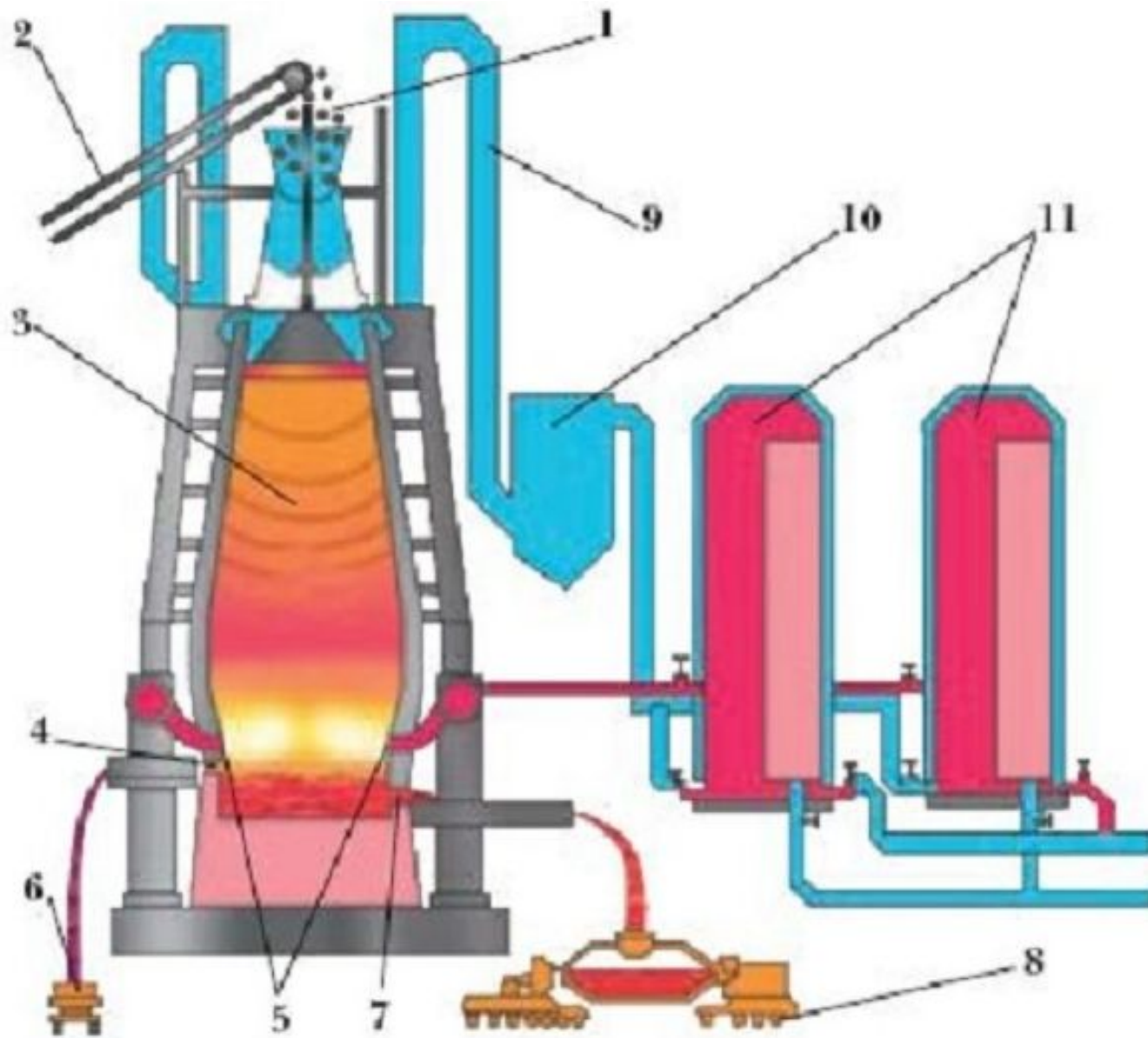
- полезный объем 5000—5500 м<sup>3</sup> ;
- высота рабочего пространства - 40 м;
- диаметр горна -15 м;
- диаметр колошника 11 м.

# Упрощенная схема доменного производства



1 — загрузочное устройство; 2 — шихта; 3 — фурменная зона; 4 — холодильники; 5 — воздухонагреватели; 6 — турбокомпрессор; 7 — приводной двигатель; 8 — ГУБТ; 9 — электрогенератор; 10 — смешивающий подогреватель; 11 — редукционное устройство; 12 — газоочистка

# схема доменного производства



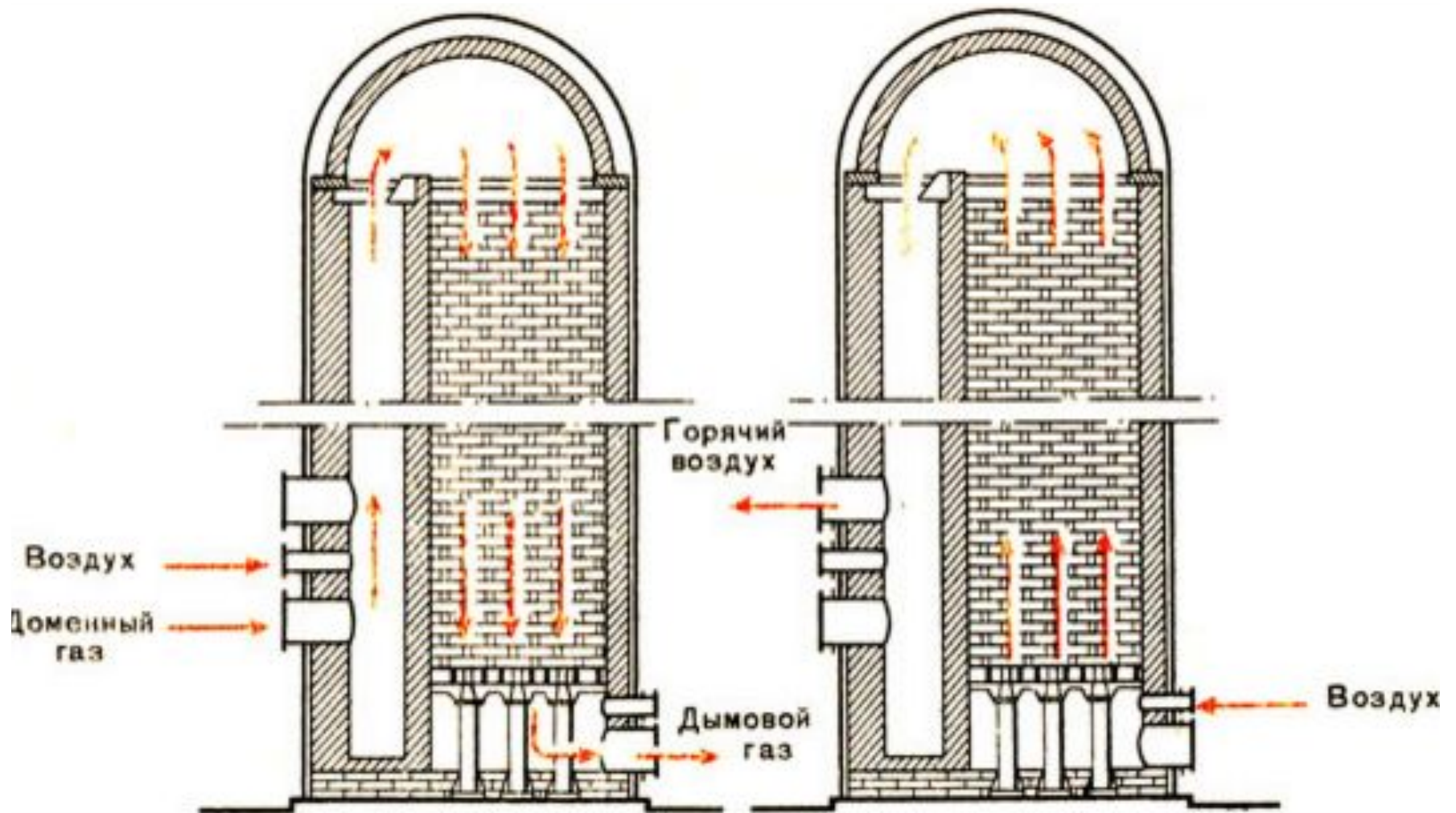
Для интенсификации доменного процесса и снижения удельного расхода кокса воздух, вдуваемый в печь, подогревают в доменных воздухонагревателях (ДВ) (другое название - каупер) регенеративного типа с керамической насадкой. ДВ обогреваются доменным газом, обычно обогащенным природным или коксовым (для получения нужной температуры горения).

На печь устанавливают обычно четыре ДВ, которые работают попеременно то в режиме разогрева, то в режиме дутья.

Воздухонагреватели крупных ДП имеют: диаметр до 8—13 м и высоту до 64 м.

Воздух (дутье) подогревается до 1200 °С, осваивается подогрев до 1400 °С

# СХЕМА ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ





Для интенсификации доменного процесса в печи вдувают природный газ, исследуется эффективность вдувания угольной пыли.

Вдуваемый воздух обогащают кислородом до 25—35%  $O_2$  по объему.

В результате процессов, проходящих в ДП, образуется горючий доменный газ (ДГ) (это основной ВЭР), который отводится из верха шахты (колошника).

## Состав доменного газа:

CO - 26—30%;      CO<sub>2</sub> - 10—20%;  
N<sub>2</sub> - 40—60%;      CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub> - 1 — 13%;  
H<sub>2</sub>O до 80 г/м<sup>3</sup>

Теплота сгорания - 3500—5500 кДж/м<sup>3</sup>.

## Состав зависит:

- от степени обогащения дутья кислородом;
- количества вдуваемого природного газа;
- температуры дутья и ряда других факторов.

Выход ДГ из печи объемом  $5500 \text{ м}^3$  при обогащенном до 35%  $\text{O}_2$  дутье -  $700\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что эквивалентно по теплоте примерно  $100 \text{ т}/\text{ч}$ , или более  $0,85 \text{ млн. т.у.т./год}$ .

Температура ДГ на выходе из колошника -  $120 - 300^\circ \text{ С}$ , а запыленность — от 1 до  $10 \text{ г}/\text{м}^3$ .

Крупные частицы осаждаются в инерционных осадителях. Далее газ охлаждается и очищается в скрубберах, а затем в аппаратах тонкой очистки до содержания пыли 4—5 мг/м<sup>3</sup>.

(На электростанциях запыленность дымовых газов, сбрасываемых в атмосферу, допускается до 100 мг/м<sup>3</sup> (при высоких дымовых трубах).

Все крупные печи работают с повышенным давлением газа в печи (Т. к. при повышении давления газа процессы в печах идут лучше). Это достигается установкой автоматического дроссельного устройства, создающего подпор.

Повышение давления газов потребовало повышения давления дутья и увеличения мощности дутьевых турбокомпрессоров, но по совокупности оказалось экономически выгодным.

Эффективность работы ДП с повышенным давлением еще более возрастает при использовании *избыточного давления ДГ* в специальных *газовых утилизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ)*.

На металлургических заводах необходимое и допустимое давление в общезаводских магистралях доменного газа равно *0,108—0,115 МПа*.

Новые крупные ДП проектируются на начальное давление дутья до *0,6 МПа*, которому соответствует давление газа на выходе из печи примерно *0,35 МПа*.

# СХЕМА ГУБТ

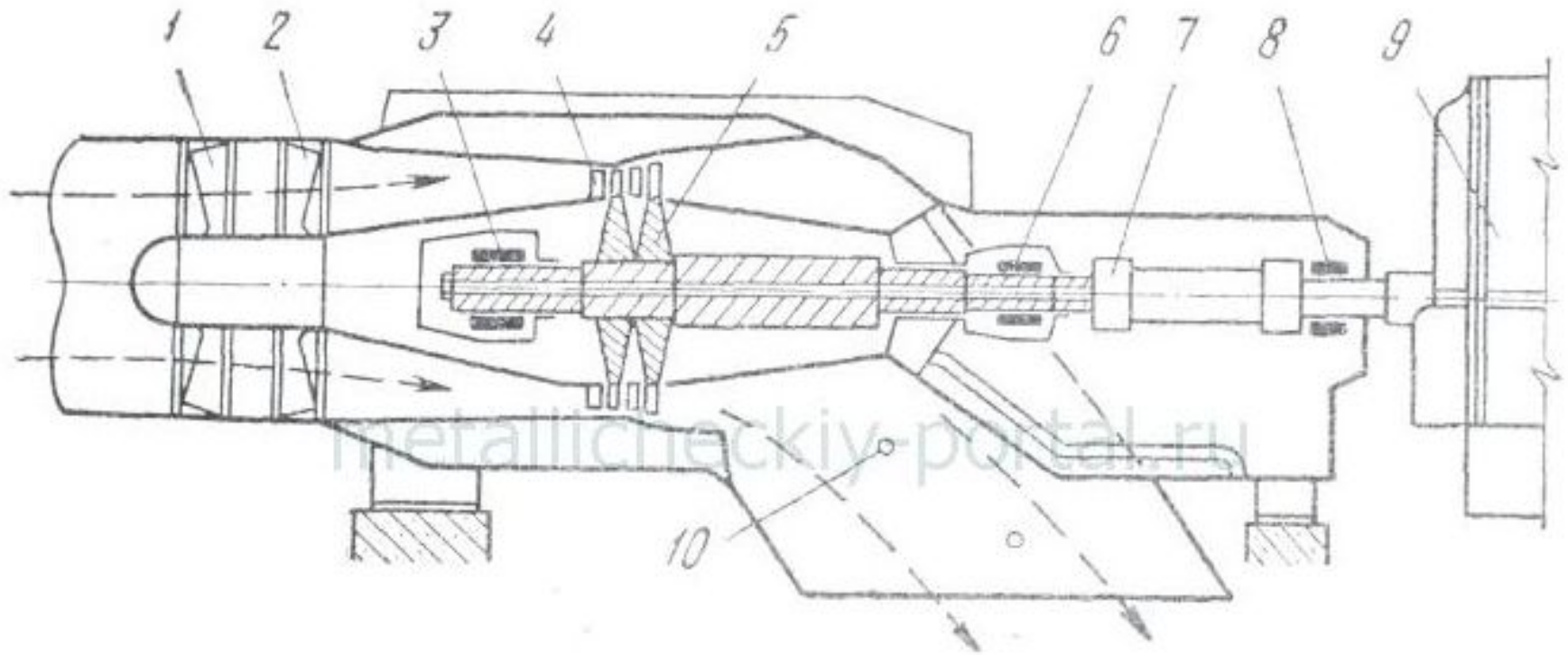


Рис. 82. Принципиальное устройство турбины:

1 — регулирующий аппарат; 2 — отсечное устройство; 3, 6, 8 — подшипники; 4 — направляющий аппарат; 5 — рабочее колесо (ротор); 7 — муфта; 9 — генератор; 10 — форсунка для разбрызгивания воды

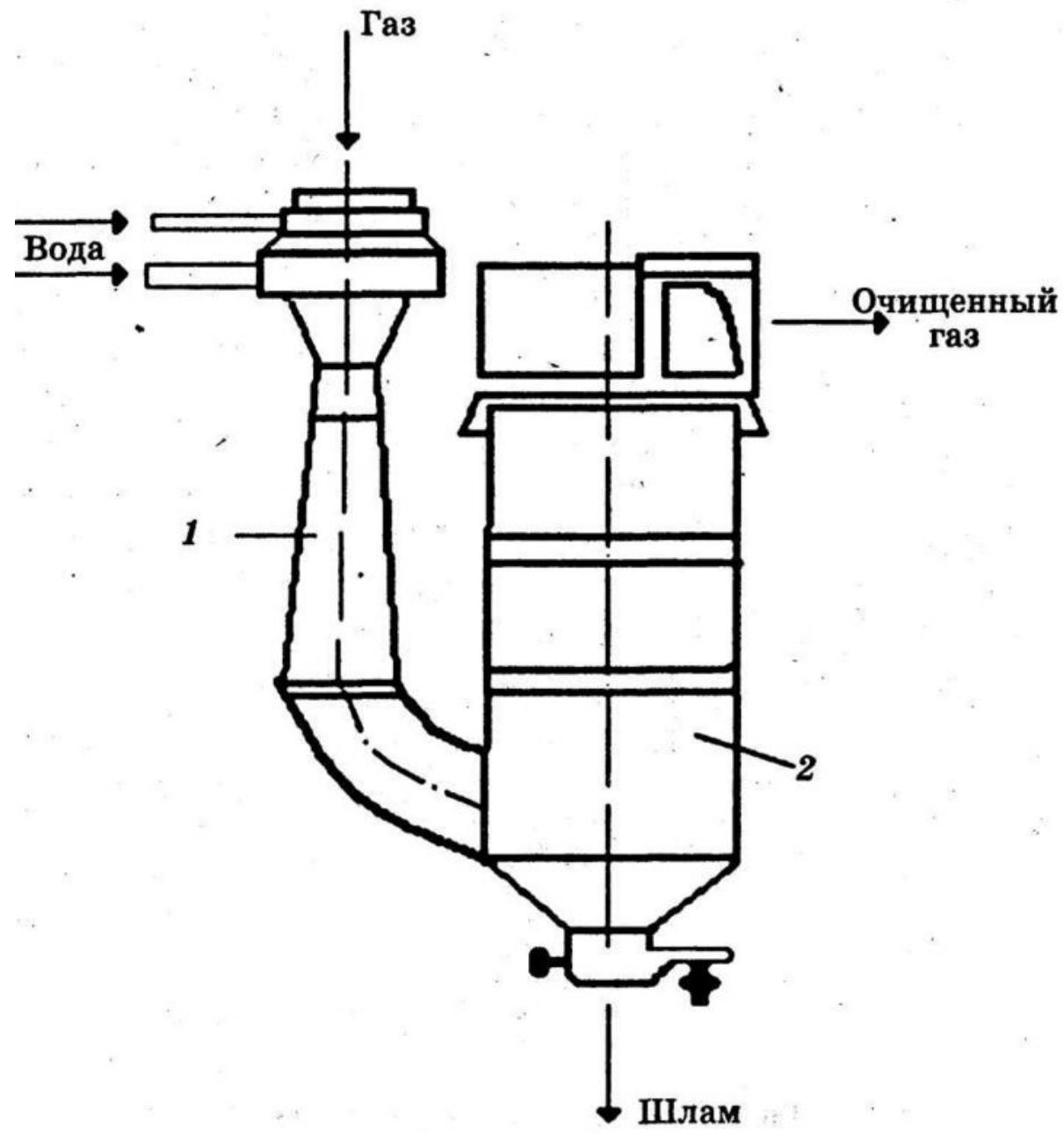
Степень очистки ДГ от пыли до запыленности  $4—5 \text{ мг/м}^3$  достигается мокрой газоочисткой:

- в электрофильтрах со смачиваемыми водой осадительными электродами;
- в турбулентных промывателях (трубах Вентури) при потерях давления газа в них  $0,007—0,012 \text{ МПа}$  и в дроссельных устройствах ДП при подаче в них воды.

После мокрых газоочисток ДГ во избежание заноса ГУБТ ранее часто осушали подогревом (до  $100—120^\circ \text{ С}$ ) в смешивающих подогревателях.



# СКРУББЕР ВЕНТУРИ



для осуществления мокрой  
газоочистки требуется дорогое  
и сложное водное и шламовое  
хозяйство, поэтому  
осваиваются сухие методы  
газоочистки, обеспечивающие  
необходимую степень очистки  
без снижения температуры  
газа.

2

Мощности ГУБТ даже при минимальном подогреве газа перед ними (около  $100^{\circ}\text{C}$ ) получаются значительными, например до **20—25 МВт** при ДП объемом 5000-5500 м<sup>3</sup>, что составляет около половины мощности доменного турбокомпрессора.

Если при сухой тонкой газоочистке температура газа перед ГУБТ составит около  $350^{\circ}\text{C}$  (как на выходе из некоторых печей), то при обогащении дутья кислородом до 35% O<sub>2</sub> мощность ГУБТ станет равной мощности доменного турбокомпрессора, т. е. в этом случае для подачи в печь дутья не потребуются энергия со стороны.

Себестоимость электроэнергии от ГУБТ составляет примерно в 2 раза ниже ее себестоимости на заводских ТЭЦ.

В СССР ГУБТ изготовлял Уральский турбомоторный завод (УТМЗ).

Несколько изготовленных им ГУБТ успешно работали в Японии. Покупали ГУБТ Индия и Италия.

Теоретические вопросы установок ГУБТ и сами ГУБТ были впервые разработаны и реализованы в СССР.

Удельный расход кокса на выплавку чугуна составляет 0,4—0,5 т/т чугуна.

Снижение удельного расхода кокса вызывает уменьшение удельного выхода ДГ, который на большинстве современных печей эквивалентен по теплоте примерно 6,0—6,7 ГДж/т чугуна.

При современной технологии в ДГ, отдаваемом другим цехам, содержится  $\text{CO}_2$  10—20 %, а  $\text{CO}$  26—30 %.

Соотношение этих цифр показывает, что углерод дорогого и дефицитного кокса используется в ДП недостаточно полно.

Как снизить расход кокса до 0,2—0,25 т/т ?

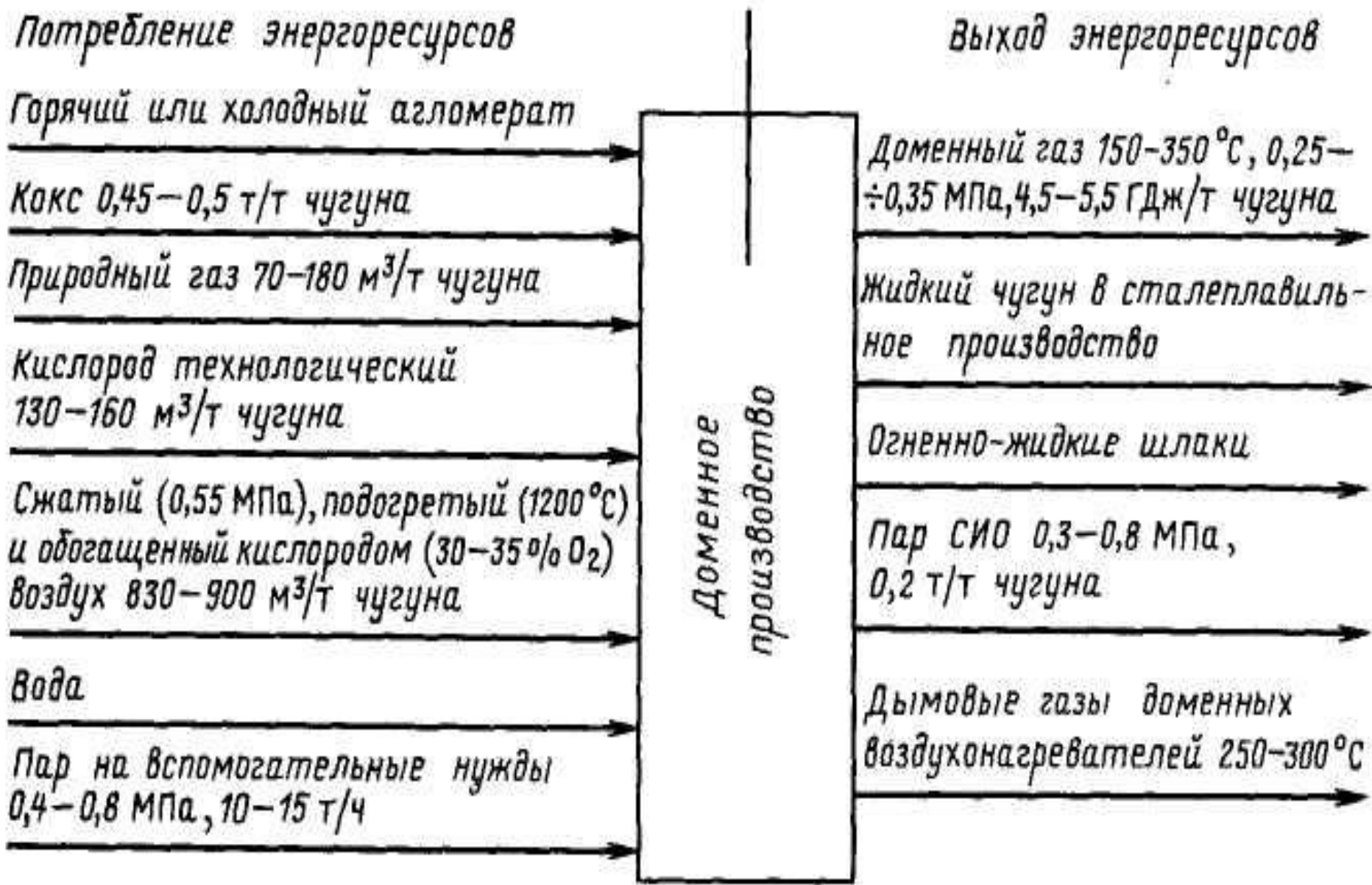
Технологический вариант: ДГ из печи направляют в установку, улавливающую  $\text{CO}_2$ . После отделения  $\text{CO}_2$  в ДГ остается много неиспользованного восстановителя —  $\text{CO}$ , который подается нагнетателем обратно в ДП. Чтобы в печи не накапливались избытки газа, в качестве дутья используют не воздух, а кислород. Тогда отпадает потребность в дорогостоящих ДВ. На восстановление железа углерод кокса используется более полно, расход кокса снижается примерно в 2—2,5 раза.

Из приходной части топливного баланса металлургического завода будет исключен доменный газ, а приход коксового газа уменьшится в 2—2,5 раза (меньше коксовых печей).

Все это приведет к коренному изменению топливного баланса завода.

Описанная схема приведена с целью показать, как сильно влияют на ТЭС ПП возможные изменения технологии производства.

# Схема основных потоков энергоресурсов доменного производства





В пределах доменного цеха ДГ используется для обогрева ДВ в количестве **22—27%** его выхода.

Так как ДГ имеет низкую температуру сгорания, а на ДВ не применяется подогрев компонентов горения, то при температурах подогрева дутья  $1100\text{—}1200^\circ\text{C}$  газ, идущий на горение, часто **обогащают добавкой природного или коксового газа**

Температура уходящих газов ДВ сильно изменяется по периодам разогрева (начало — конец) и колеблется в пределах **150—500° С.**

В общем борове от четырех ДВ колебания температуры меньше — она и составляет в среднем **250—400° С.**

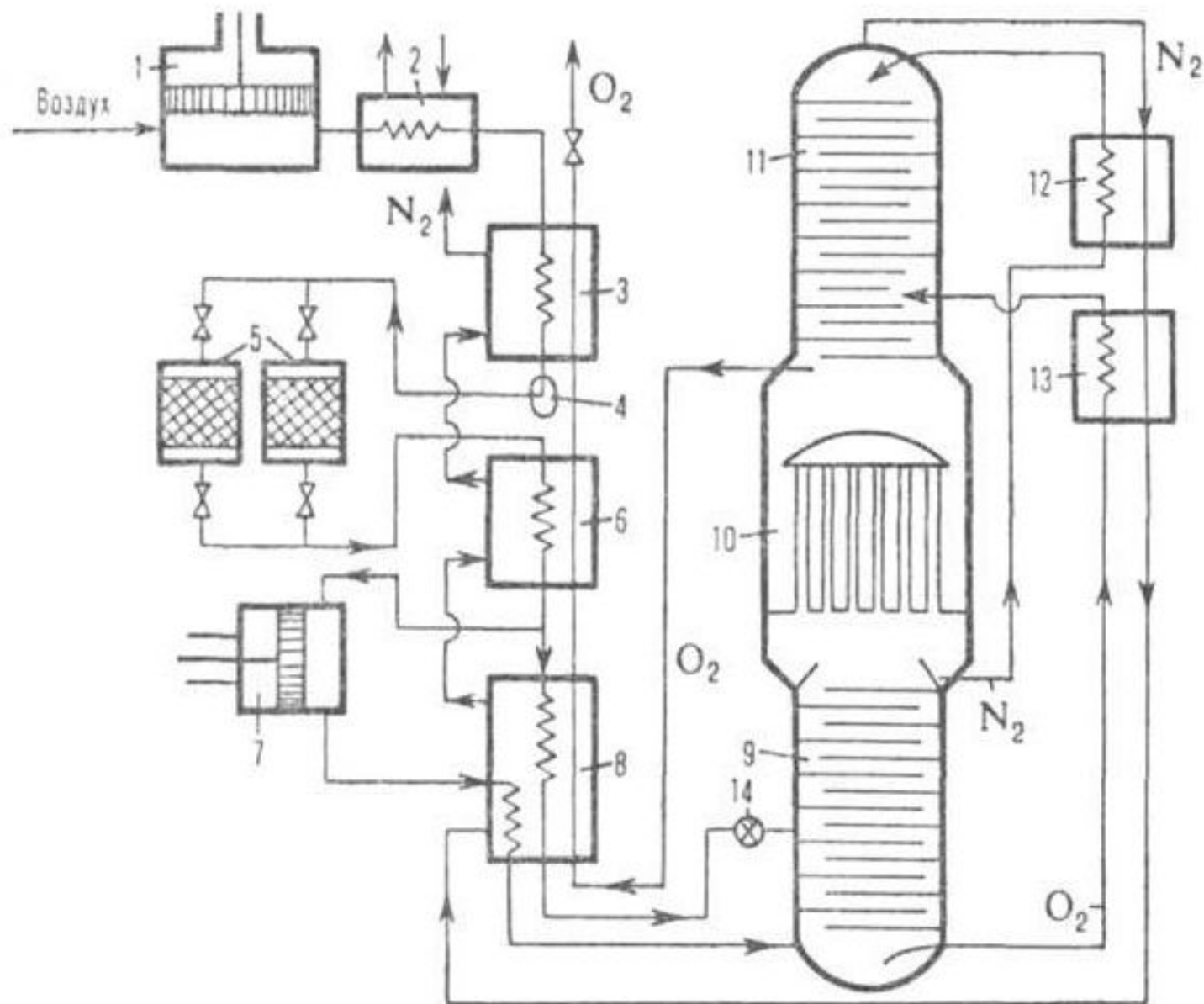
Для обогащения дутья печи объемом  $5600 \text{ м}^3$  кислородом до 35%  $\text{O}_2$  требуется расход технического кислорода  $80\,000\text{—}85\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Самые крупные из изготавливаемых воздухоразделительных установок имеют производительность до  $70\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Суммарная мощность воздушных и кислородных компрессоров блока  $30\text{—}35 \text{ МВт}$ .

Количество природного газа, вдуваемого в доменные печи, колеблется от  $70$  до  $180 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ т}$  чугуна и связано со степенью обогащения дутья кислородом (чем больше обогащение, тем больше вдувают газа).

# СХЕМА ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ



Пар в доменном производстве расходуется в количестве 10—15 т/ч для заполнения межконусного пространства (уплотнения), для привода некоторых небольших механизмов и на другие вспомогательные нужды.

Проточная вода, охлаждающая холодильники и фурмы печи, уносит на крупных печах 60—90 ГДж/ч теплоты.

При испарительном охлаждении холодильников, а также клапанов горячего дутья за счет *системы испарительного охлаждения (СИО)* можно получить в среднем достаточное для цеха количество пара.

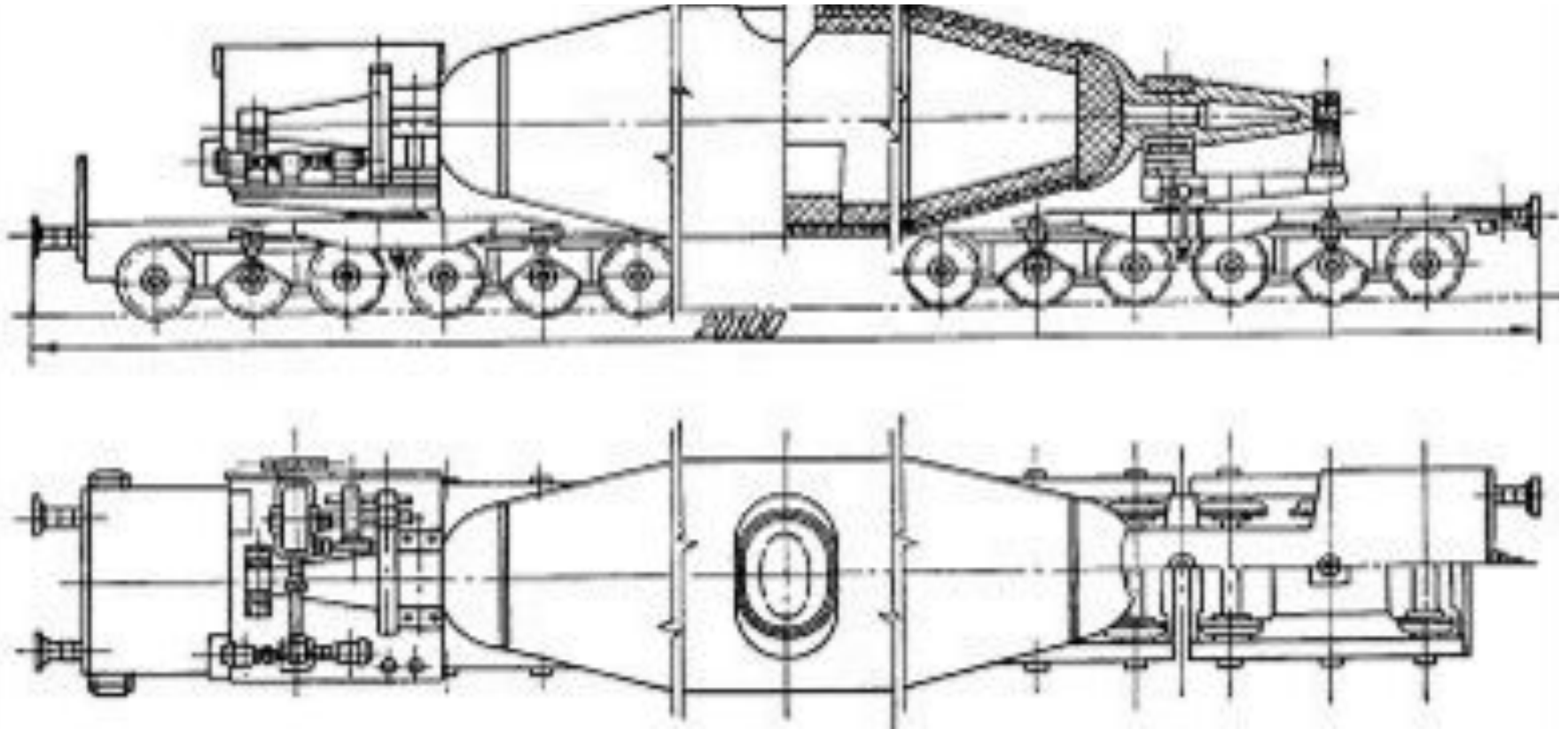
При этом давление пара **СИО** может составить **0,8 МПа**, однако практически по ряду причин на многих заводах оно значительно ниже, из-за чего пар СИО используется плохо.

**СИО** доменных печей могут давать в среднем около **0,2 ГДж** на **1 т** выплавленного чугуна.

Теплота жидкого чугуна хорошо используется в сталеплавильных цехах, так как в мартеновские печи или конвертеры заливается жидкий чугун.

С жидким шлаком уносится на крупных печах теплота, эквивалентная 8—15 т/ч условного топлива. Пока эта теплота не используется из-за отсутствия надежных и экономичных способов его утилизации.

# СХЕМА МИКСЕРА ДЛЯ ЖИДКОГО ЧУГУНА





Режим работы доменных печей при нормальной их эксплуатации **стабильный**.

Соответственно стабильными должны быть расходы и выходы ЭР.

Но в работе агрегатов бывают неполадки и возмущения, **приводящие** иногда к **резким изменениям расходов** и ЭР.

**Пример:** фурмы для подачи дутья с температурой  $1200^{\circ}\text{C}$  и выше, направлены в самую горячую зону печи и подвержены большой радиационной тепловой нагрузке. В этой зоне кокс горит в воздухе, обогащенном кислородом до 35% и нагретом до  $1200^{\circ}\text{C}$ .

Поэтому фурмы стоят **20—30 дней**, хотя и изготавливаются из красной меди и интенсивно охлаждаются водой. На крупных печах число фурм составляет **30—40**.

При смене фурм необходимо снижение давления в печи.

Работы по замене фурм отработаны, при этом на замену каждой фурмы требуется не более 10 мин.

Однако на это время выход доменного газа почти прекращается, что, учитывая его масштабы, хотя и кратковременно, но существенно сказывается на газовом балансе завода.

Доменные печи работают непрерывно в течение многих лет (проектное число рабочих суток ДП составляет 357 в год), но постоянно могут быть те или иные возмущения в приходах и расходах различных ЭР и их параметрах, длительностью от нескольких минут до суток и более.

Печи иногда переводят на так называемый **тихий ход**. Для наладки хода печи иногда требуются довольно значительные изменения расходов и давлений дутья.