

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ
СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Способы выплавки стали

Сталь выплавляют в настоящее время в основном тремя способами:

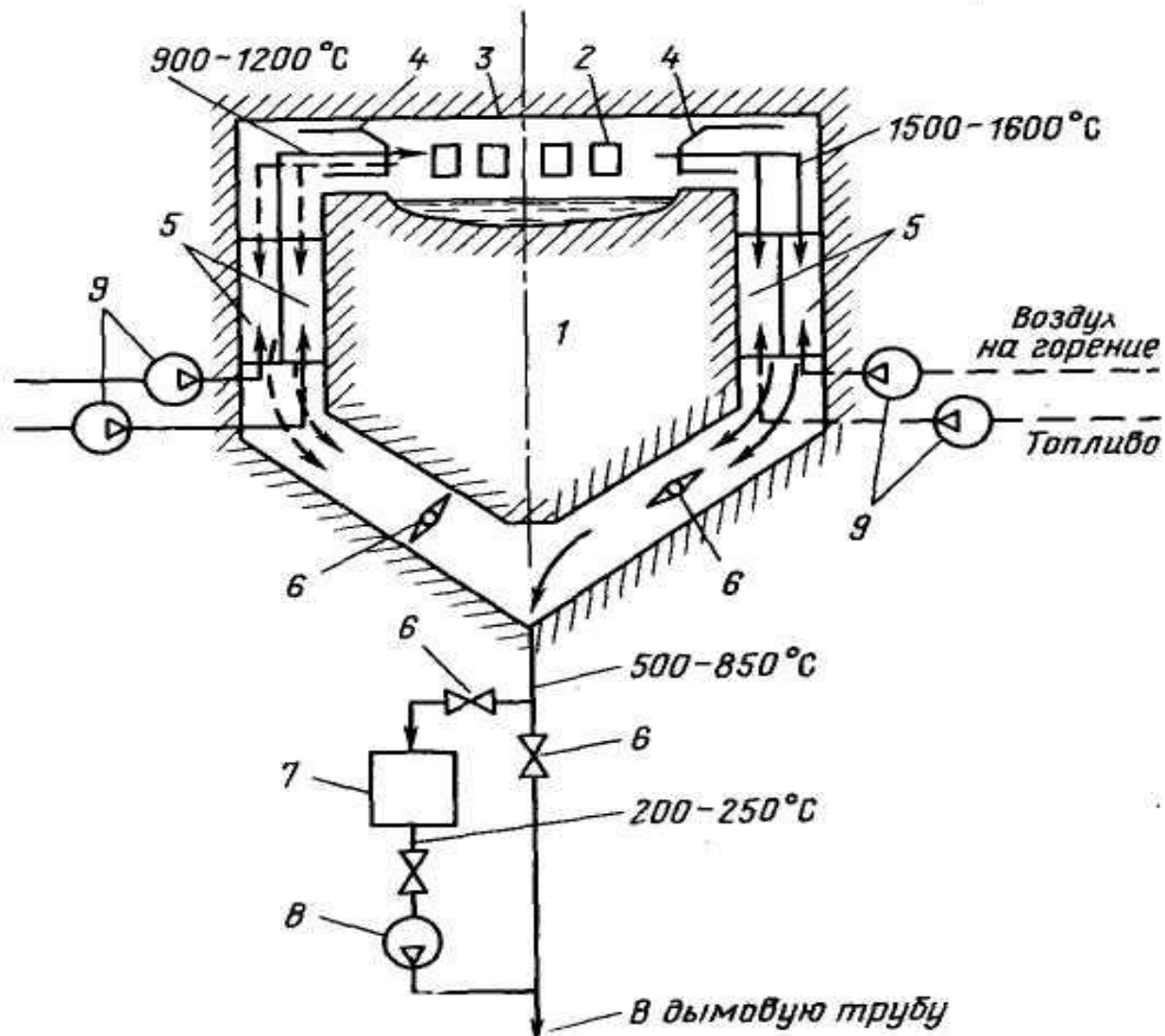
- в конвертерах, продуваемых кислородом;
- в электропечах;
- в мартеновских печах

Сырьем для выплавки стали служит в основном жидкий чугун с добавлением скрапа (стального лома), доля которого обычно значительна.

Использование стального лома является экономически выгодным, так как он намного дешевле жидкого чугуна и удешевляет сталь в 2—3 раза.

**Мартеновское
производство
стали**

Упрощенная схема мартеновской печи



1 — плавильная камера; 2 — загрузочные окна; 3 — отражательный свод; 4 — кессоны;

5 — регенераторы; 6 — запорные органы; 7 — котел-утилизатор; 8 — дымосос;

9 — нагнетатели

схема мартеновской печи

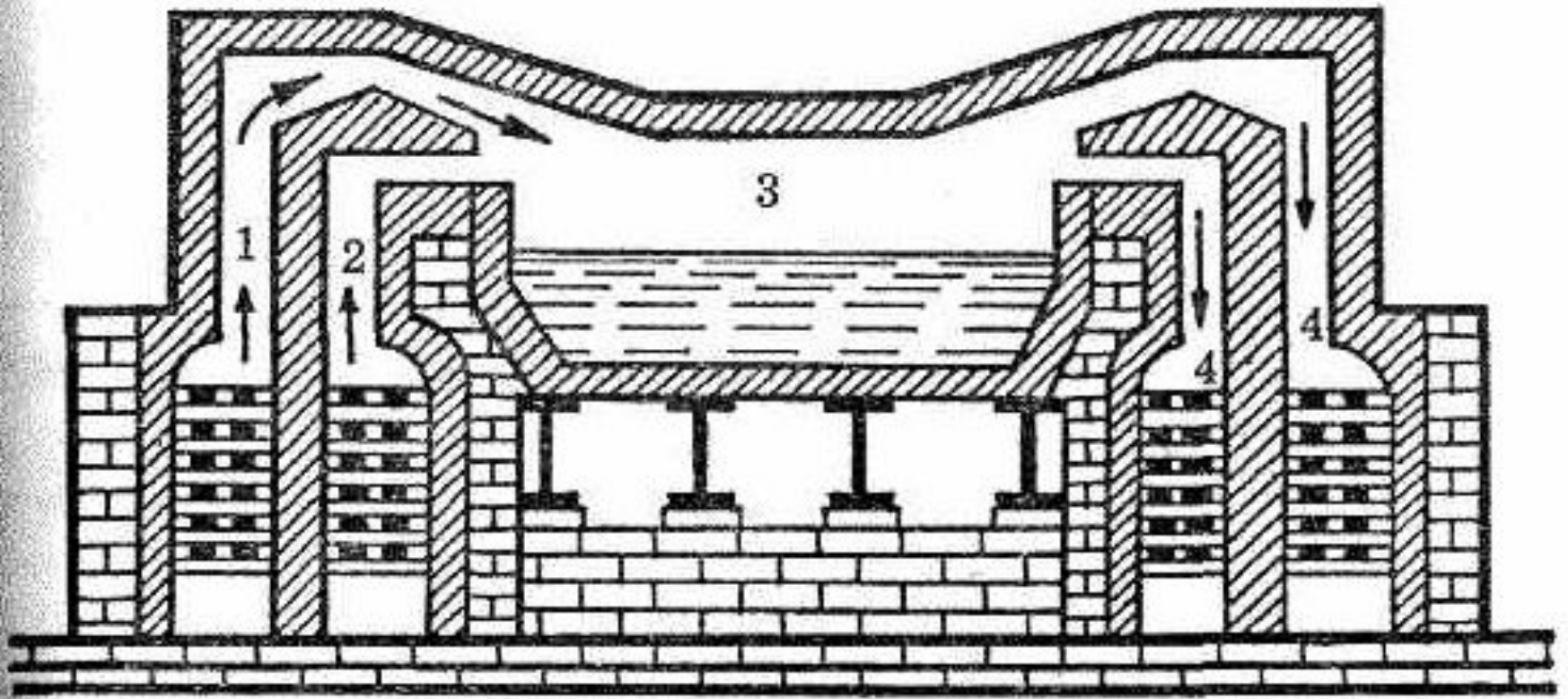


Рис.27. Схема устройства мартеновской печи для передела чугуна в сталь
1 — газ; 2 — воздух; 3 — чугун; 4 — продукты горения

Жидкий чугун заливается через загрузочные окна в ванну печи, в которую подается и скрап, при этом сталь плавится при температуре порядка 1400°C .

Температура греющих газов лимитируется стойкостью свода, который выдерживает 200—300 плавов.

Для снижения удельных расходов топлива применяют высокий подогрев компонентов горения (до $900\text{—}1100^{\circ}\text{C}$) в керамических подогревателях регенеративного типа, встроенных в печи попарно (правые — левые).

Для работы **подогревателей** как в режиме разогрева уходящими из плавильного пространства газами, так и в режиме **подогрева** компонентов горения применяют перекидки, т. е. изменения направления движения газов в регенераторах и плавильной камере на противоположные.

Это достигается открытием или закрытием запорных органов б на трактах уходящих газов и подачей воздуха горения и топлива попеременно в соответствующую группу (правую, левую) регенераторов печи.

К концу плавки для обеспечения возможно высокого подогрева компонентов горения перекидки делают через 5—10 мин.

При работе МП на жидком топливе и природном газе подогревают только воздух горения.

Для организации конфигурации факела топливо и воздух попадают в рабочее пространство через кессоны, через них происходит и удаление газа из рабочего пространства печи при перекидке.

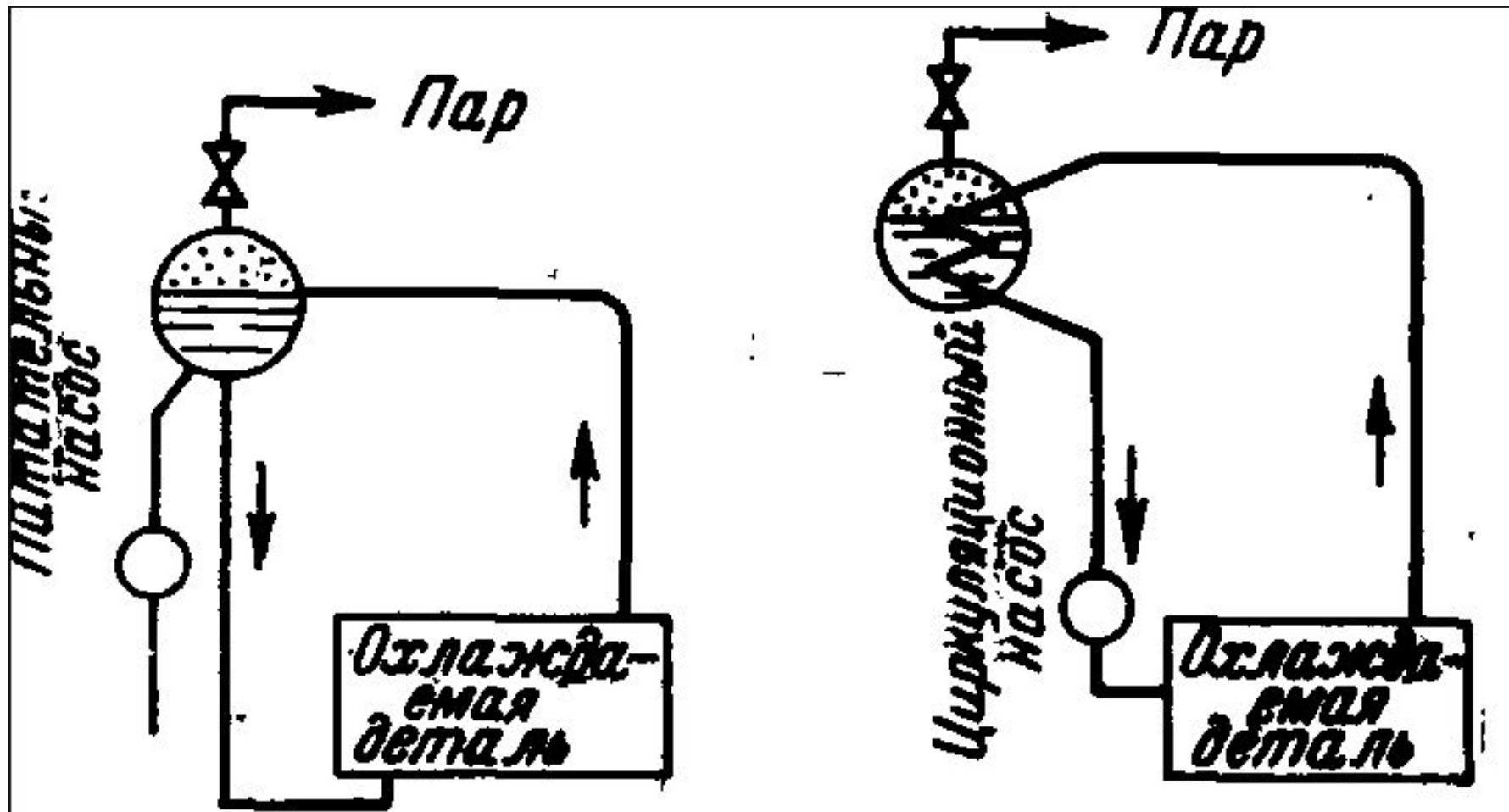
Для повышения светимости факела используют различные присадки к топливу

Для обеспечения длительной работы ряд элементов МП - рамы загрузочных окон, кессоны и др.- охлаждаются водой (ранее просто проточной).

В 50-х годах 20 века в СССР была разработана система испарительного охлаждения (СИО) этих элементов, которая сейчас применяется практически на всех МП СНГ и широко за рубежом.

На СИО были переведены нагревательные печи прокатных цехов, доменные и другие печи, а также различные технологические агрегаты в цветной металлургии и других отраслях промышленности.

СХЕМА СИСТЕМЫ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ



Размеры МП измеряются массой садки, т. е. загруженного в ванну металла. Садка разных МП колеблется от 30 до 900 т.

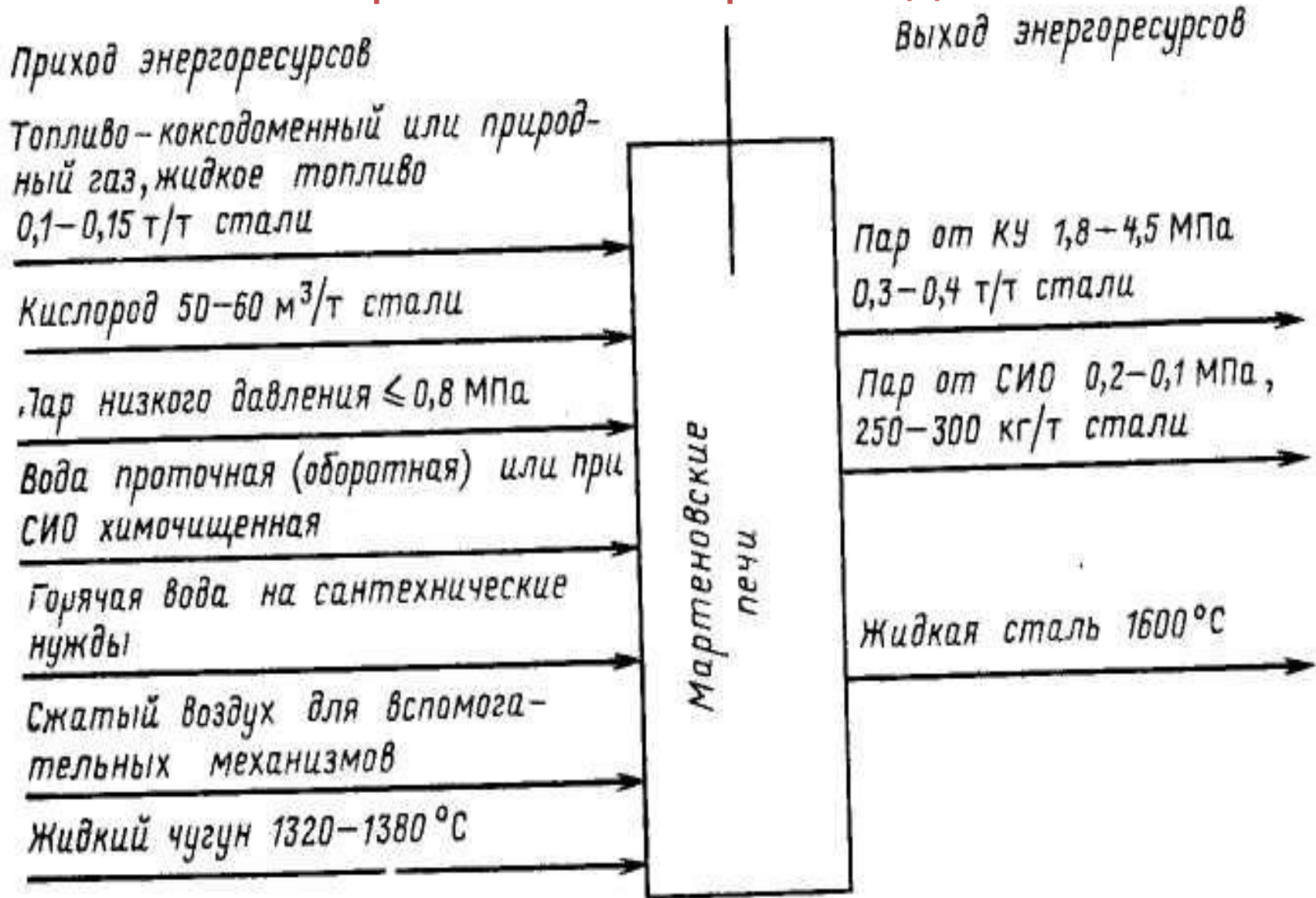
Процесс выплавки стали: завалка, разогрев, плавление, доводка, выпуск готовой стали.

Расход топлива, расход уходящих газов и их температура после регенераторов существенно изменяются по периодам.

Общая длительность плавки от 6 до 14 ч, причем она дольше для больших печей.

Удельный расход топлива составляет 0,10—0,15 т/т стали.

Схема основных потоков энергоресурсов в мартеновском производстве



Топливом большинства МП служит газ.

Жидкое топливо (обязательно бессернистое или малосернистое) применяется для небольших МП.

Ранее почти все МП работали на смеси доменного и коксового газов — так называемом коксодоменном газе с теплотой сгорания 9500—10 500 кДж/м³, при которой достигался нужный пирометрический эффект.

В настоящее время большинство МП работает на природном газе.

При этом печи проще (нет регенераторов для подогрева горючего газа), дешевле и более просты в эксплуатации.

Для интенсификации процесса и сокращения длительности плавки в отдельные периоды в МП подается кислород в количестве 50—60 м³/т стали частично в воздух для горения, а частично непосредственно в ванну.

Через охлаждаемые элементы отводится 10—15% теплоты сжигаемого топлива, поэтому ее использование при СИО представляет существенный интерес.

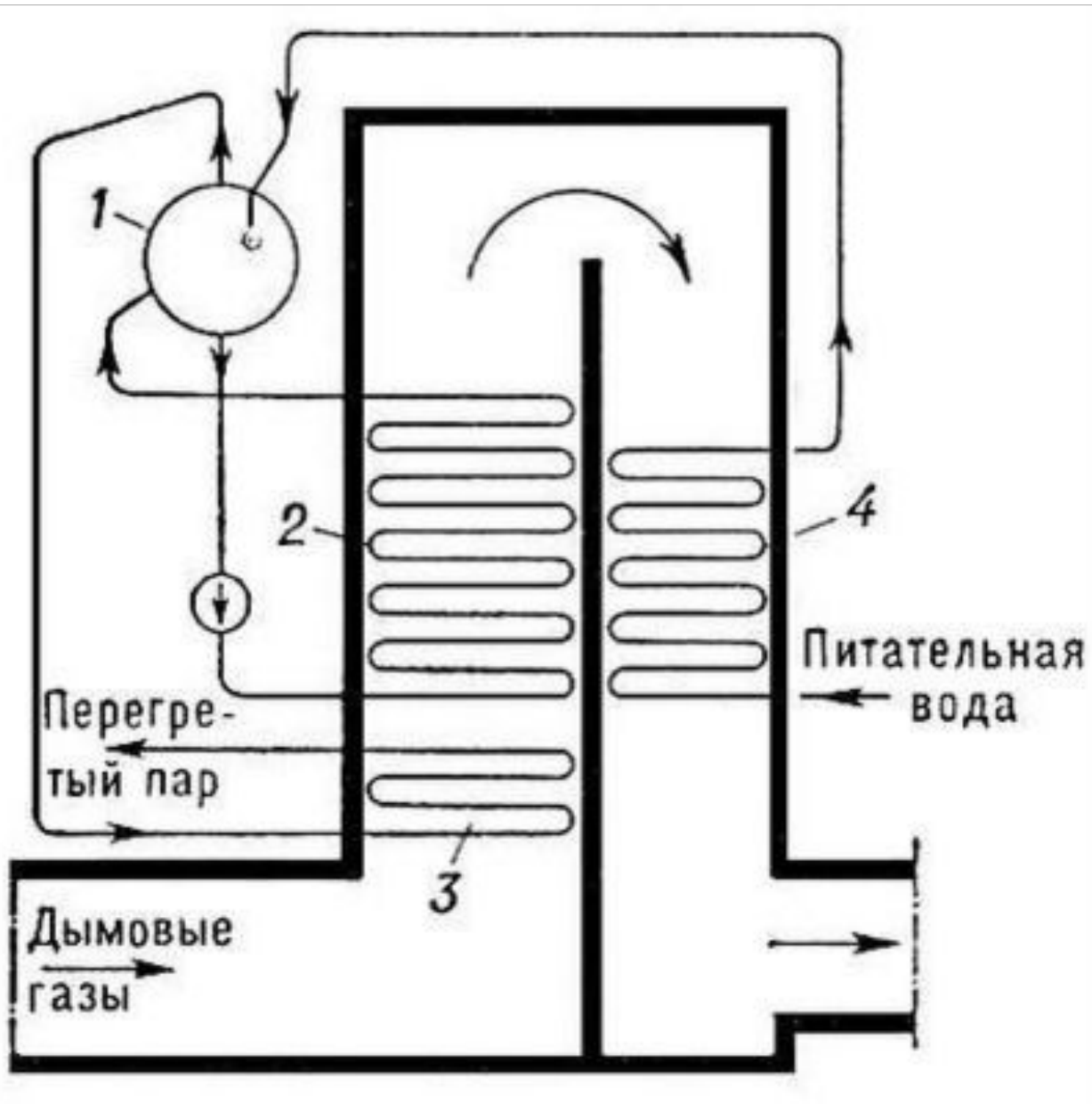
По расчетам от СИО может быть получен пар давлением до 1 МПа и выше, однако на многих печах давление его не превышает 0,2—0,6 МПа по условиям прочности охлаждаемых элементов МП.

Пар низкого давления используется в цехе в небольших количествах на вспомогательные нужды и подогрев жидкого топлива.

В котлах-утилизаторах (КУ) уходящие газы могут быть экономично охлаждены до 200—250°C, в них вырабатывается 0,3—0,4 т пара/т стали.

Давление пара составляет 1,2—1,8 МПа, но на ряде заводов КУ работают с давлением пара 3,5—4,5 МПа, который может быть использован и на силовые нужды.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА КУ



Так как высокая температура сильно удорожает транспорт пара, то обычно в КУ его перегревают частично.

До нужной температуры перегрева пар доводят в **центральных пароперегревателях**, которые располагают вблизи потребителей и работают от подогрева топливом.

Установка КУ с дымососом дает сокращение времени плавки на 5—15 % и удлиняет кампанию печи на 10—15%.

Теплота жидкой стали используется в последующих переделах.

При разливке в изложницы сталь в них охлаждается до образования достаточно прочной оболочки для выема слитка (болванки) из изложницы.

При *непрерывной разливке стали* (НРС) теплота, отводимая в кристаллизаторах, может использоваться путем испарительного охлаждения кристаллизаторов

РАЗЛИВКА СТАЛИ В ИЗЛОЖНИЦЫ

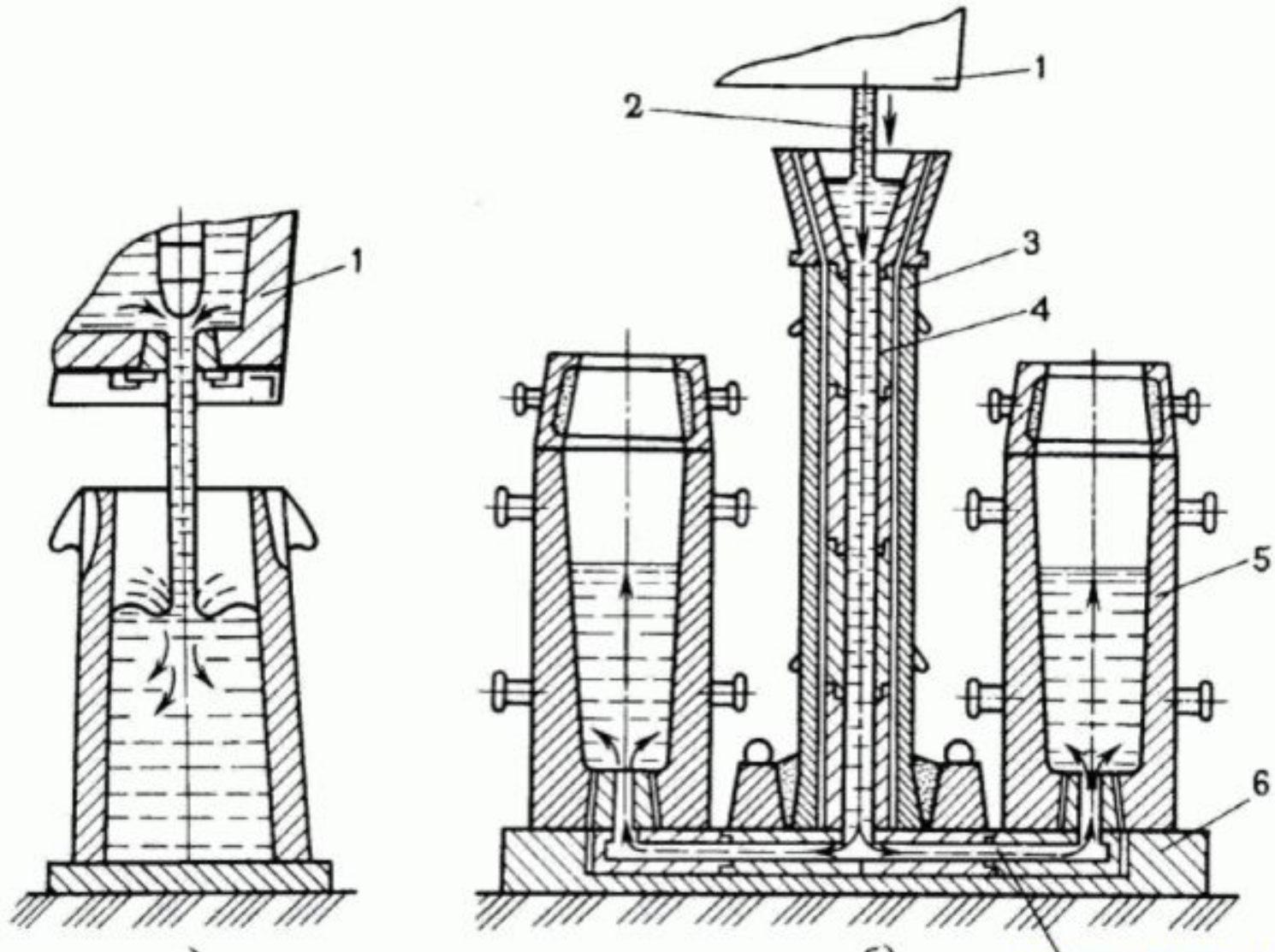
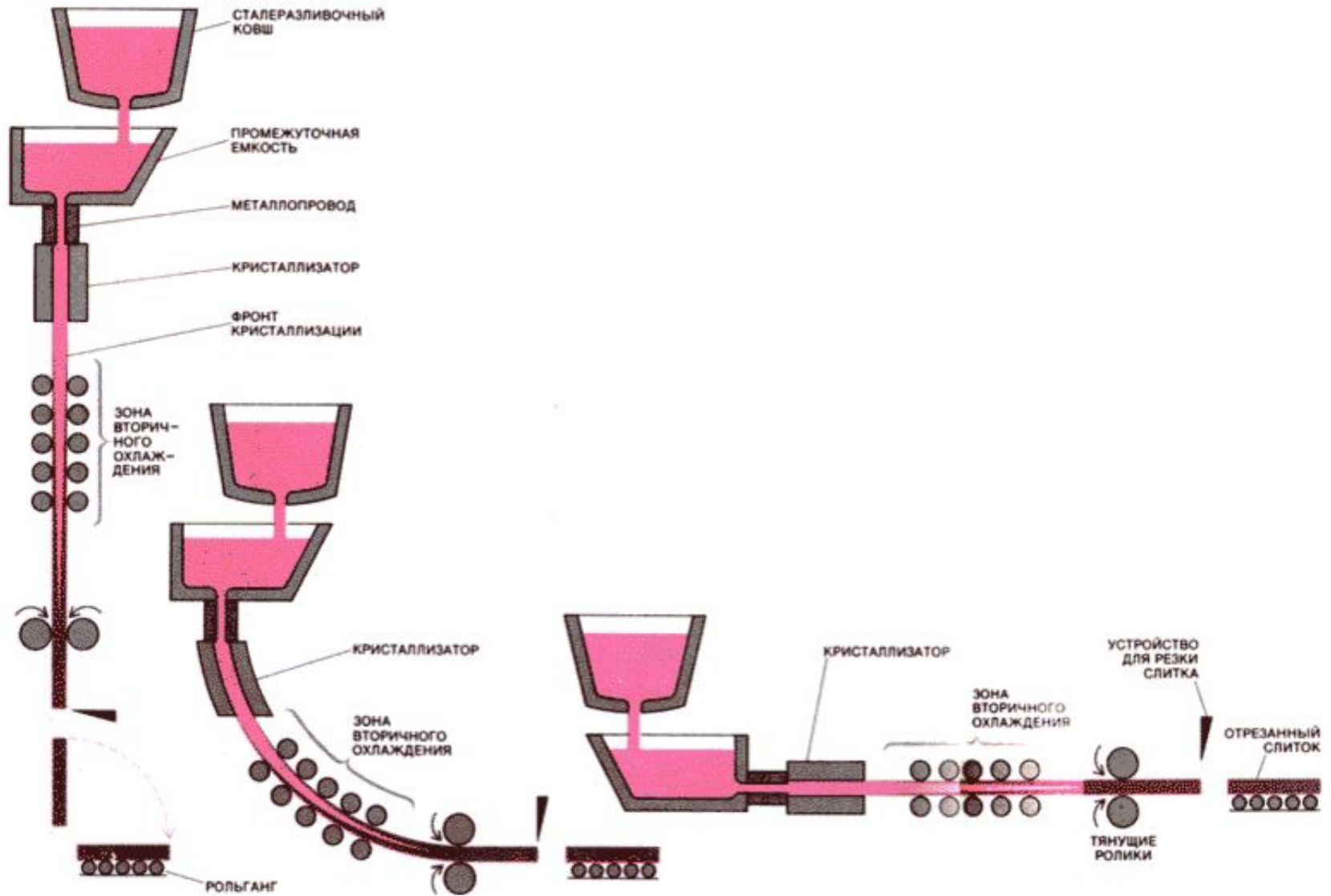


СХЕМА МНЛЗ



**Кислородно-
конвертерное
производство
стали**

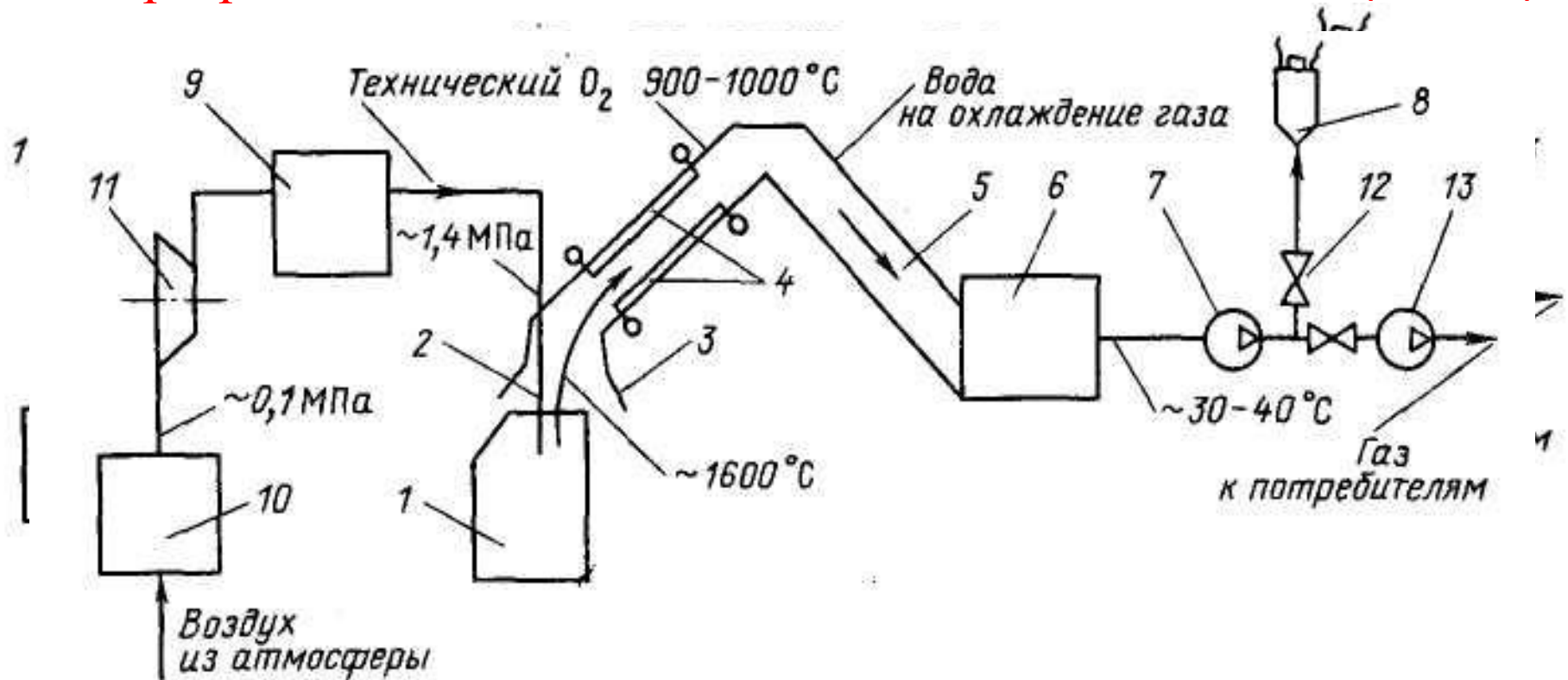
Получение стали из чугуна в конвертерах путем продувки воздуха через слой чугуна (бессемеровский процесс) применялось давно.

2

При этом однако не удавалось получить качественные марки сталей, в частности из-за вредного влияния азота воздуха на сталь.

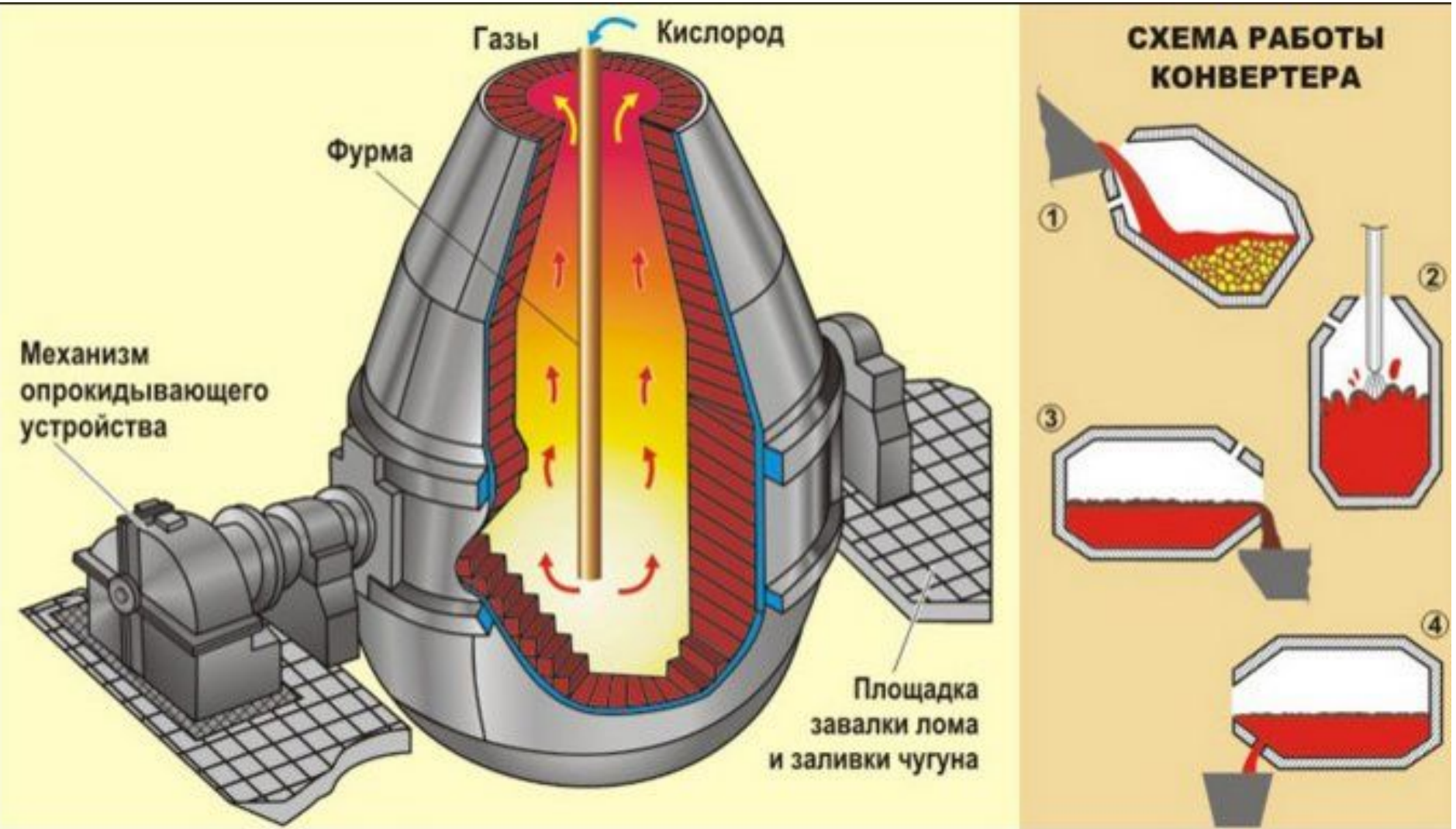
Положение изменилось, когда продувку стали делать кислородом высокой чистоты (содержание O_2 99,5%), при этом оказалось возможным получать в конвертерах почти все марки стали.

Упрощенная схема кислородно-конвертерного производства стали с конвертерами вместимостью 300—350 т металлошихты (садки)



1 — конвертер; 2 — фурма; 3 — уплотняющая юбка; 4 — котел-охладитель; 5 — участок охлаждения газов впрыском воды; 6 — газоочистка; 7 — вентилятор; 8 — свеча; 9 — аккумулятор сжатого кислорода; 10 — воздухоразделительная установка; 11 — компрессор; 12 — запорный орган; 13 — нагнетатель

СХЕМА КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА



В настоящее время подача кислорода в конвертеры производится **сверху** через специальную **фурму**. При этом доля скрапа не превышает 25 %.

Возможен вариант, при котором продувка производится также **и снизу**, что должно дать ряд преимуществ (позволит **повысить** **долю** металлолома до **40—50%**).

В конвертерах при продувке стали кислородом выгорают марганец, кремний и углерод, наблюдается и некоторый угар железа.

Этим обеспечивается подвод достаточного для хода процесса количества теплоты.

Поэтому подача дополнительного топлива не требуется.

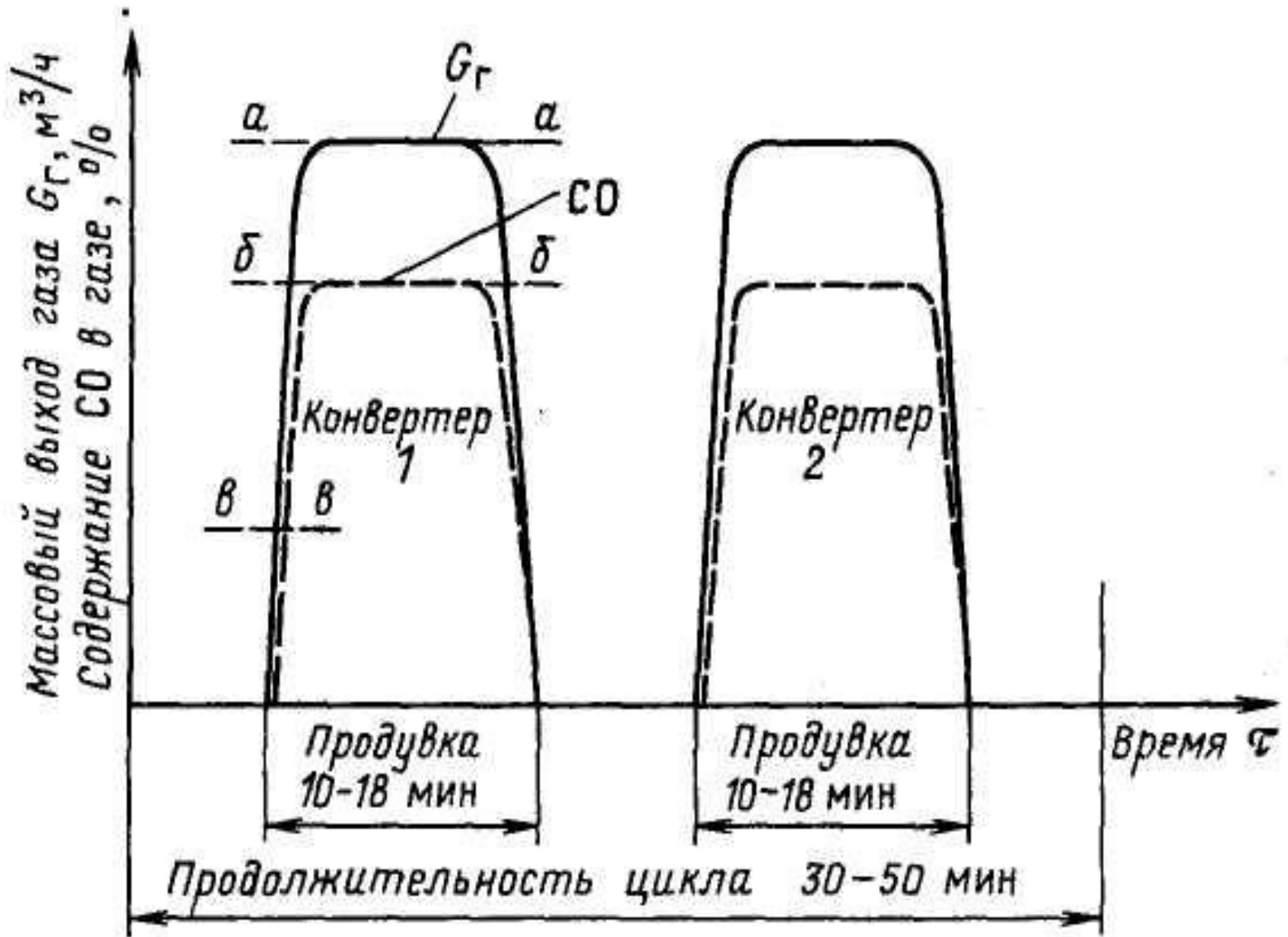
В цехе устанавливают обычно три конвертера, один из которых находится в ремонте (в основном ремонтируется футеровка), а два других работают попеременно—один на продувке, другой на загрузке.

Циклом называют время, за которое происходит последовательная работа обоих конвертеров: загрузка — продувка — слив стали, т. е. время между, например, началами продувки каждого из конвертеров.

Продолжительность цикла зависит от длительности продувки и организации загрузки (доли скрапа) и составляет в большинстве случаев от 35 до 45 мин.

В связи с малым временем продувки, т. е. временем, за которое из чугуна получается сталь, производительность кислородно-компрессорных цехов велика. Так, при применении конвертеров садкой 350 т она составляет до 5 млн. т и более стали в год.

Проектный график работы сталеплавильных конвертеров



В действительности по разным причинам периоды продувок отдельных конвертеров могут сближаться при сохранении общей длительности цикла, а при достаточных запасах кислорода даже в какой-то степени накладываться друг на друга.

В любом случае выходы конвертерного газа происходят с периодическими колебаниями от нуля до 100%.

τ
Примерная конфигурация кривых $G_{\Gamma} = f(\tau)$ и $CO = f(\tau)$, определяется режимом и интенсивностью продувок.

Выход газа G_{Γ} зависит от расхода вдуваемого кислорода (при садке конвертеров 300 т):

при подаче кислорода 400 м³/мин выход газа - 60 тыс. м³/ч;

при подаче 1500 м³/мин кислорода - до 170 тыс. м³/ч.

Линия $a—a$ (рис.) горизонтальна в тех случаях, когда расход образующихся газов лимитируется пропускной способностью газового тракта, газоочистки, мощностью нагнетателя и др.

Мощность нагнетателей у крупных конвертеров достигает 4—6 тыс. кВт.

Объясняется это большими расходами газа, например: расход влажного газа перед нагнетателем (при охлаждении газа впрыском воды) составляет около $145 \text{ м}^3/\text{с}$ (около $520\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$).

В период между продувками нагнетатели не отключают для предупреждения образования в газоходах и аппаратуре взрывчатых смесей.

Увеличение пропускной способности газового тракта является сложной задачей и требует значительных затрат, но при этом возможно сокращение времени продувки.

Содержание CO (основной горючей составляющей) в конвертерном газе:

В начале продувки содержание CO составляет несколько %. Через 1—2 мин содержание CO в газе на выходе из конвертера достигает 80—90 %. Из-за подсосов часть CO сгорает и после мокрой газоочистки содержание CO в сухом газе снижается до 65—75%.

Теплота сгорания влажного (после газоочистки) газа составляет 6700—8400 кДж/м³.

Температура газов на выходе из конвертеров равна 1500—1600° С.

Таким образом, как по физической, так и по химической связанной теплоте газы конвертеров обладают значительным потенциалом, который целесообразно использовать.

По схеме, показанной на рисунке, применяемой для современных крупных конвертеров, физическая и химически связанная теплота газов используется только частично (до $900-1050^{\circ}\text{C}$) в радиационном котле — охладителе газов (КОГ).

После КОГ газ охлаждается впрыском воды до допустимой для газоочистки температуры $60-80^{\circ}\text{C}$.

В конвертерах с небольшой садкой (50-150 т) на газовом тракте до газоочистки устанавливались паровые котлы-охладители газов (КОГ), перед которыми весь газ сжигался.

Это позволяло использовать физическую и химически связанную теплоту газов.

Выдача пара такими КОГ периодическая и меняется от 0 до 100%.

Смягчить толчки выхода пара можно подтопкой, т. е. сжиганием в КОГ топлива со стороны в периоды между продувками, когда нет конвертерного газа.

Применяется и аккумуляция пара в аккумуляторах типа Рутса.

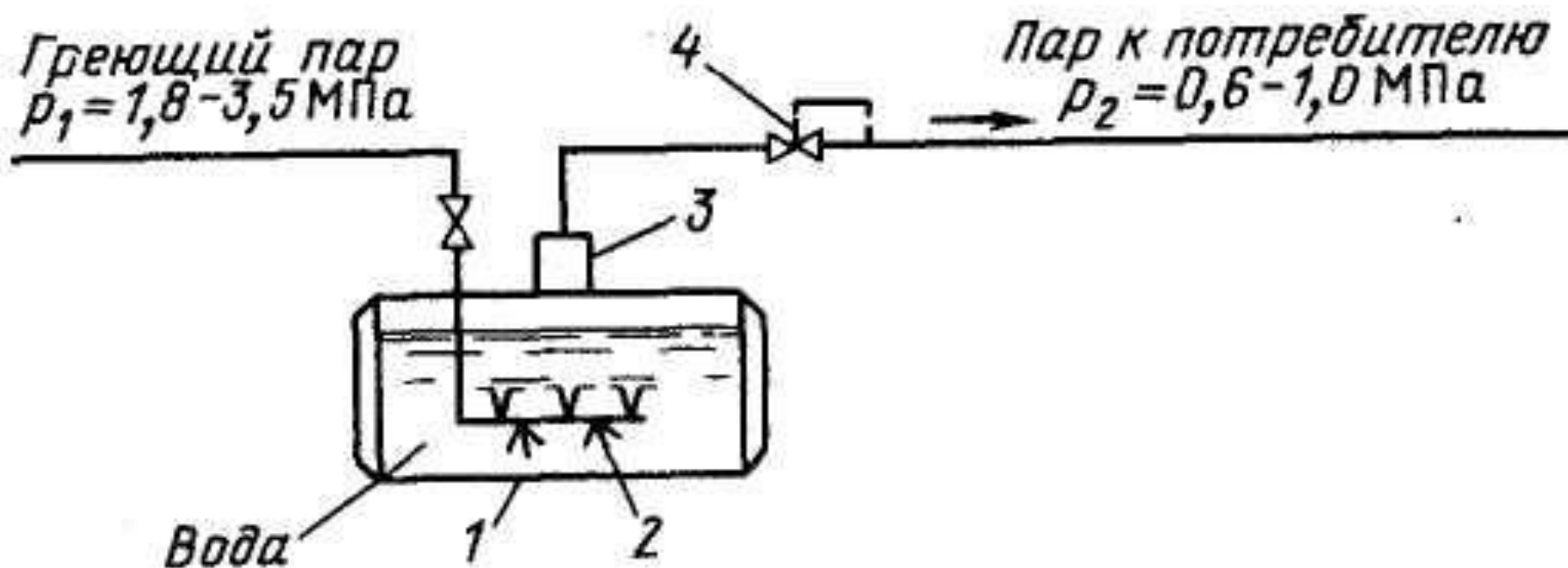


Рис. Принципиальная схема аккумулятора пара (типа Рутса):

1 — бак-аккумулятор; 2 — смешивающий подогреватель;
3 — паросборник-сепаратор; 4 — регулятор давления
«после себя»

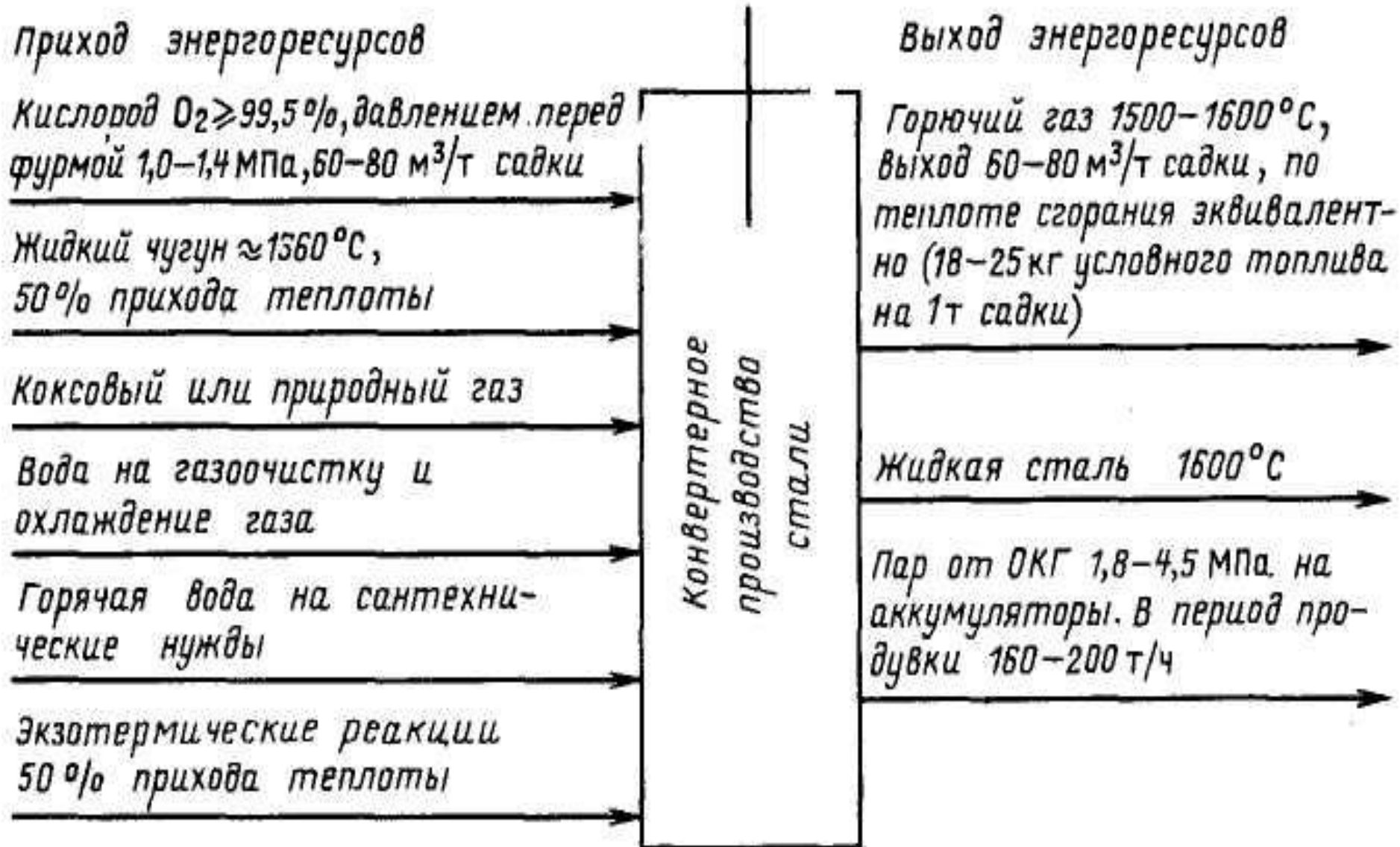
Для максимального снижения заносов конвективных поверхностей КОГ, (увеличивающих сопротивление проходу газов и приводящих к снижению выплавки стали), для крупных конвертеров применяют КОГ радиационного типа.

Максимальная начальная запыленность газов доходит до 200 г/м^3 , причем около 80% частиц имеют размер до 1 мкм. После газоочистки, оборудованной трубами Вентури, запыленность газа снижается примерно до $0,1 \text{ г/м}^3$.

При больших конвертерах броски выходов пара от КОГ (периодические от 0 до 100%) достигают сотен тонн в час, при этом непосредственное использование пара в паровой системе завода становится практически невозможным.

Подтопка КОГ имеет низкие экономические показатели, поэтому нашли применение схемы без дожигания газа или с частичным его дожиганием, при которых используется только часть физической и химически связанной теплоты газов, а большая часть теплоты газа не используется и теряется в окружающую среду через свечи.

Схема основных потоков энергоресурсов конвертерного производства стали



Из рис. видно, что выход горючего очищенного газа периодичен как по количеству, так и по составу, поэтому его использование связано с большими трудностями.

Необходимо аккумулировать либо этот газ в газгольдерах, либо теплоту сгорания газа в специальных аккумуляторах теплоты с последующей равномерной отдачей ее другому теплоносителю.

Выход конвертерного газа по теплоте эквивалентен 0,02—0,03 т у. т. на 1 т стали. Расход кислорода составляет в среднем от 60 до 80 м³ на 1 т стали.

СХЕМА ГАЗГОЛЬДЕРА

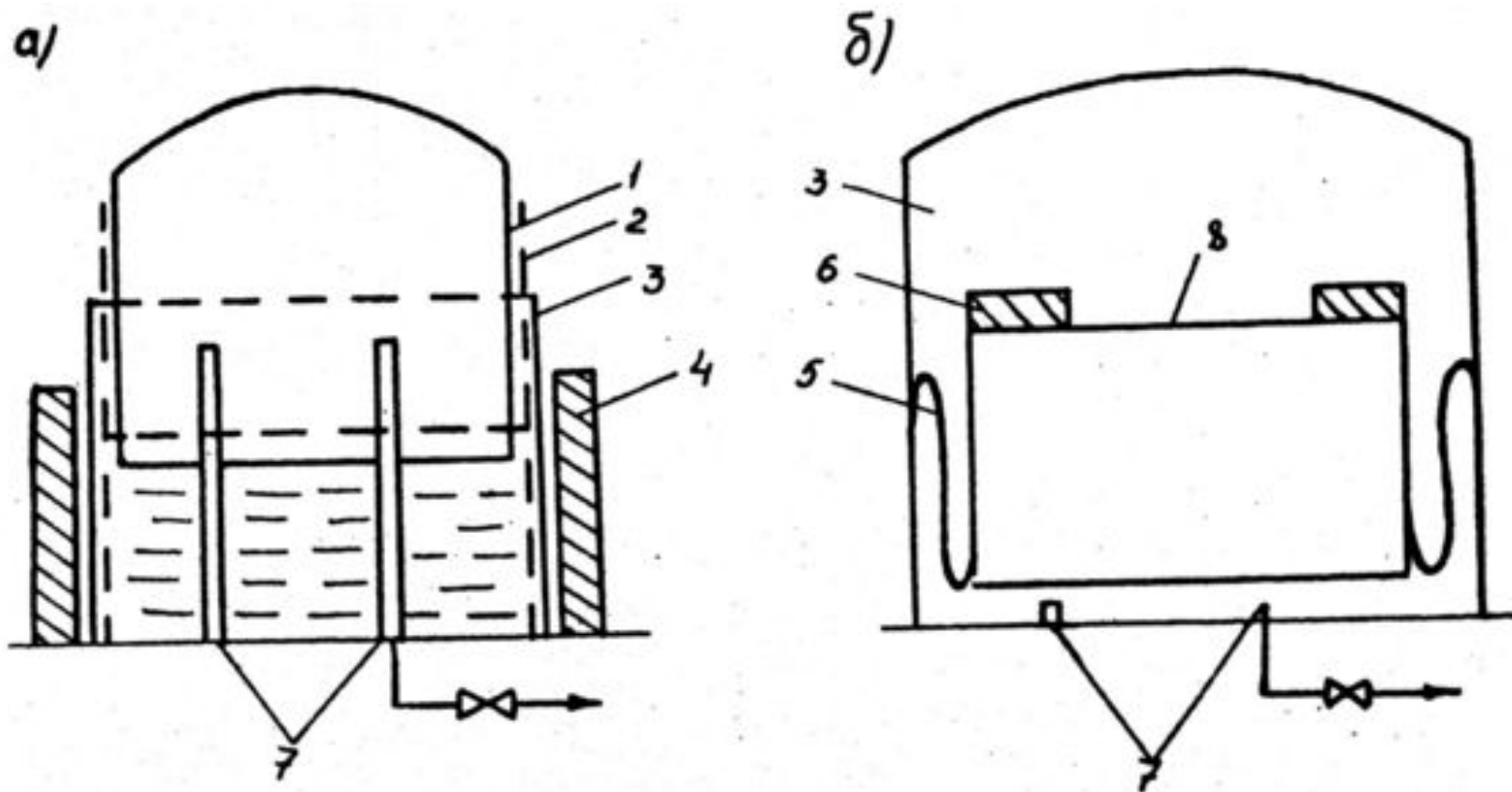


Рис.5.22. Принципиальные схемы газгольдеров
а) мокрого; б) сухого:
1 - колокол; 2 - направляющая штанга;
3 - резервуар; 4 - утепляющая стенка;
5 - гибкая секция; 6 - грузила для создания
избыточного давления; 7 - подача и отбор
газа; 8 - шайба

В связи с периодичностью продувки конвертеров периодически и потребление ими кислорода от нуля до 800—2800 м³/мин во время продувки.

По техническим характеристикам воздуходелительные установки не допускают перерывов и могут выдавать кислород только равномерно.

Поэтому воздуходелительные установки оборудуются емкостями для аккумуляции кислорода.

Однако и при наличии емкостей потери кислорода из-за расхождения графиков выхода и потребления могут превосходить 10%.

Конвертерный газ, содержащий 60—80% CO, токсичен, поэтому перед сбросом в атмосферу его необходимо сжечь, для чего устанавливают специальные автоматизированные *свечи*, в которых непрерывно горит поджигающий факел коксового или природного газа.

Свечи: вертикальные металлические трубы высотой 30—40 м, на вершине которых установлена горелка и поджигающие устройства.

Добиться полного выгорания CO в свечах трудно, поэтому в атмосферу попадает значительное количество CO.

Конвертерный газ, состоящий в основном из CO, может использоваться как восстановитель железа, для предварительного подогрева шихты и других целей, а при наличии газгольдеров также в топках котлов.