



НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Р.Е. Алексеева



ИНСТИТУТ
ПЕРЕПОДГОТОВКИ
СПЕЦИАЛИСТОВ

Дополнительная образовательная программа профессионального обучения

«Сталевар электропечи»



Конструкция, механическое и электрическое оборудование электропечи

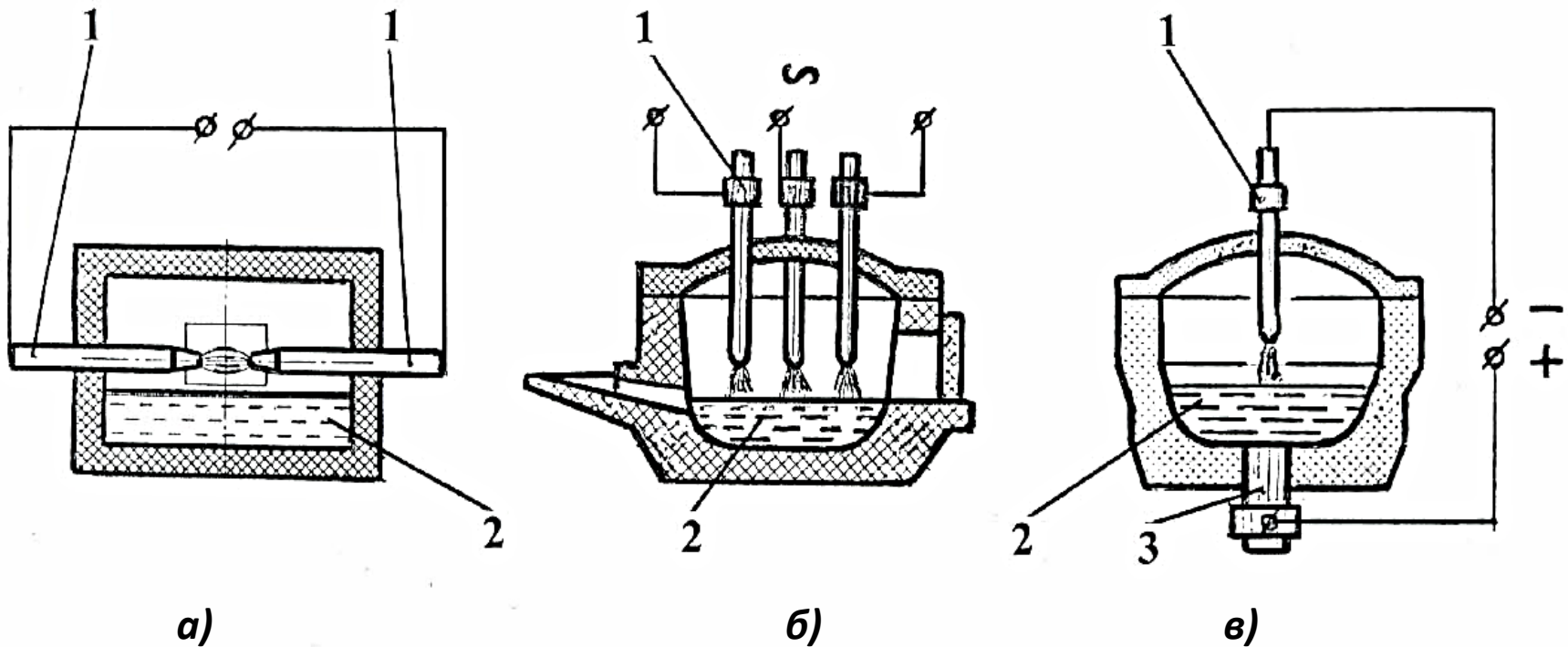
Классификация дуговых электрических печей



- ✓ **дуговые печи косвенного действия.** В таких печах электрическая дуга горит между электродами, расположенными над расплавленным металлом, и теплообмен между дугой и материалом осуществляется как за счет излучения, так и за счет конвекции;
- ✓ **дуговые печи прямого действия.** В этом случае электрическая дуга горит между электродами и нагреваемым материалом. Его нагрев осуществляется при выделении энергии в дуге, протекании тока через расплав, а также за счет излучения плазмы дуги, конвекции и теплопроводности;
- ✓ **дуговые печи сопротивления.** В этом типе печей дуга горит под слоем электропроводной шихты - теплота выделяется в дуговом разряде и при прохождении тока через шихту в расплавленных материалах. Передача теплоты в объем печи происходит за счет теплопроводности, излучения и частично за счет конвекции;
- ✓ **вакуумные дуговые печи.** В данном случае электрическая дуга горит в инертном газе или парах переплавляемого металла между расходуемым электродом (из переплавляемого металла) и ванной жидкого металла или между нерасходуемым электродом и ванной переплавляемого металла;
- ✓ **плазменно-дуговые плавильные установки.** В них нагрев металла происходит электрической дугой вместе со струей плазмы инертного газа, что позволяет обеспечить чистоту переплавляемого металла, увеличить производительность и экономичность печи данной модификации.



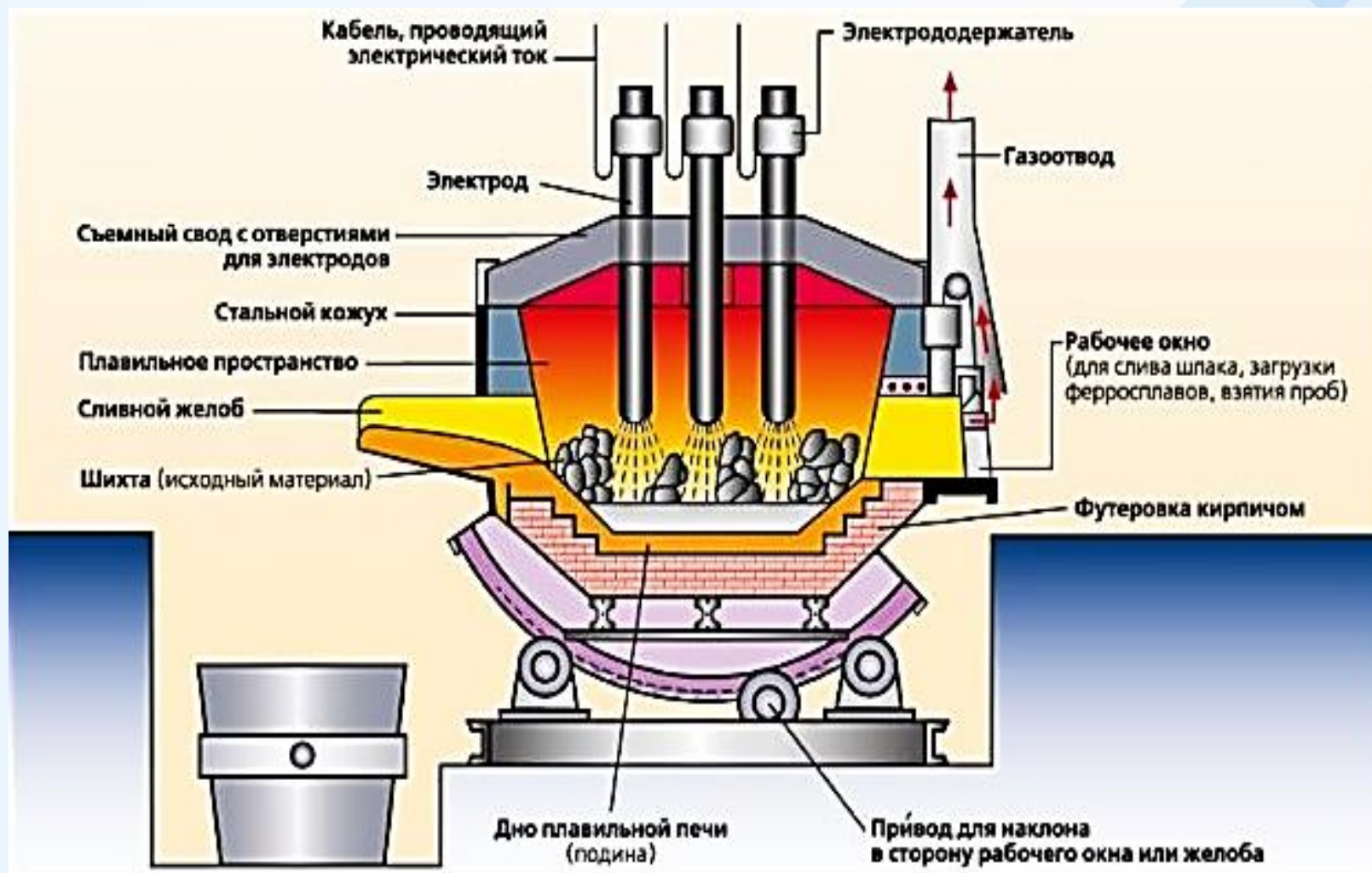
Схемы дуговых плавильных печей



- а** – барабанная поворотная с независимой дугой;
б – ванного типа, поворотная с зависимой дугой переменного тока;
в – ванного типа, поворотная с зависимой дугой постоянного тока;
1 – электрод; 2 – сплав; 3 – анод

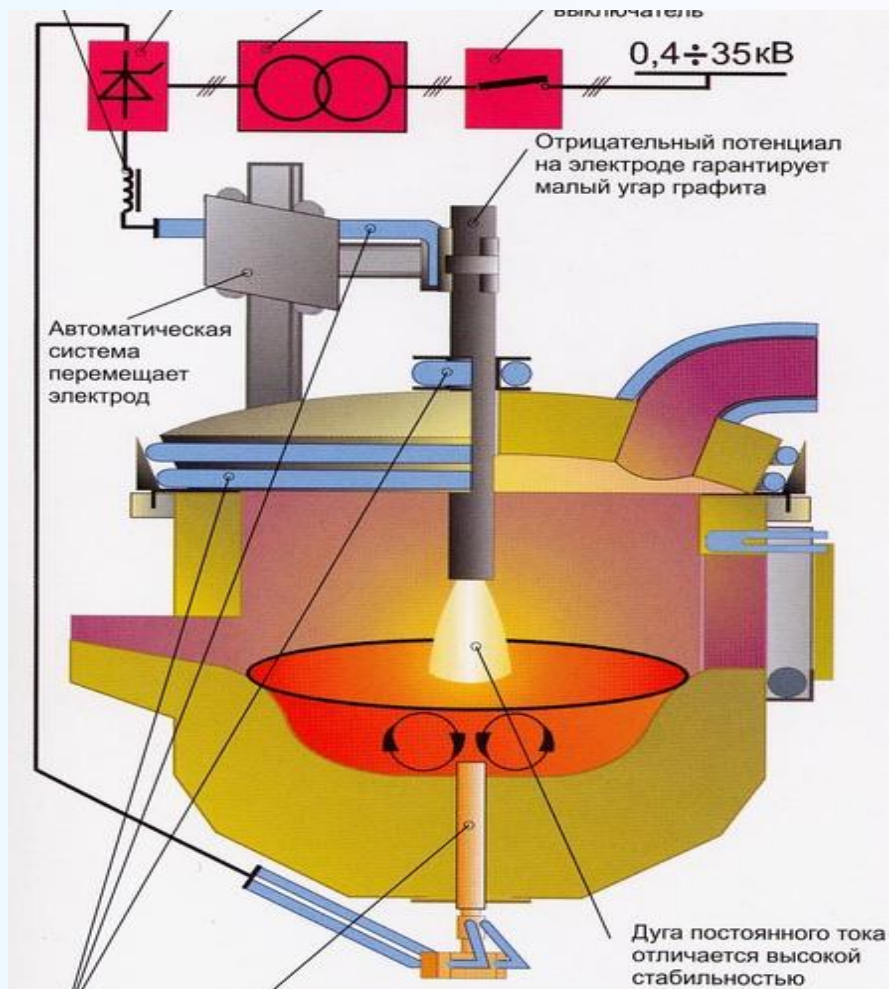


Электропечь на переменном токе





Электропечь на постоянном токе



Характеристики отечественных дуговых сталеплавильных печей типа ДС и ДСП

Показатель	ДС-05	ДС-1,5	ДС-3	ДС-6	ДСП-6	ДСП-12	ДСП-25	ДСП-50	ДСП-100
Способ загрузки шихты	<i>А</i>	<i>А</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>	<i>В</i>	<i>В</i>	<i>В</i>	<i>В</i>	<i>В</i>
Номинальная вместимость, т	0,5	1,5	3	6	6	12	25	50	100
Мощность трансформатора, кВа	630	1250	2000	4800	4800	9600	15000	24000	60000
Удельная мощность трансформатора, кВа/т	1260	833	666	800	800	800	600	480	600
Удельный расход (расчётный) электроэнергии на расплавление шихты, кВт·ч/т	650	535	515	500	500	470	460	440	405
Вторичное напряжение, В	216...98	225...103	243...116	281...118	281...118	318...120	370...130	407...144	516...258
Максимальный ток электрода, кА	1,685	3,21	4,809	9,78	9,78	17,4	23,4	34	67,3
Диаметр графитированного электрода, м	0,15	0,15	0,2	0,3	0,3	0,35	0,4	0,5	0,61
Диаметр ванны на уровне откосов, м	1,1	1,5	1,8	2,26	2,23	2,74	3,54	4,56	5,6
Диаметр кожуха на уровне откосов, м	1,72	2,4	2,95	3,02	3,35	4,26	4,7	5,8	6,9
Глубина ванны, м	0,26	0,46	0,4	0,43	0,44	0,56	0,78	0,89	1,1
Масса металлоконструкций, т	5,1	11,3	22,8	49	50	90	168	276	460

Все электропечи трехфазные с загрузкой шихты:

А - через рабочее окно; Б -сверху за счет отката ванны; В – сверху за счет отворота свода.



Способы загрузки печи сверху

В зависимости от способа открывания для загрузки сверху различаются печи с:

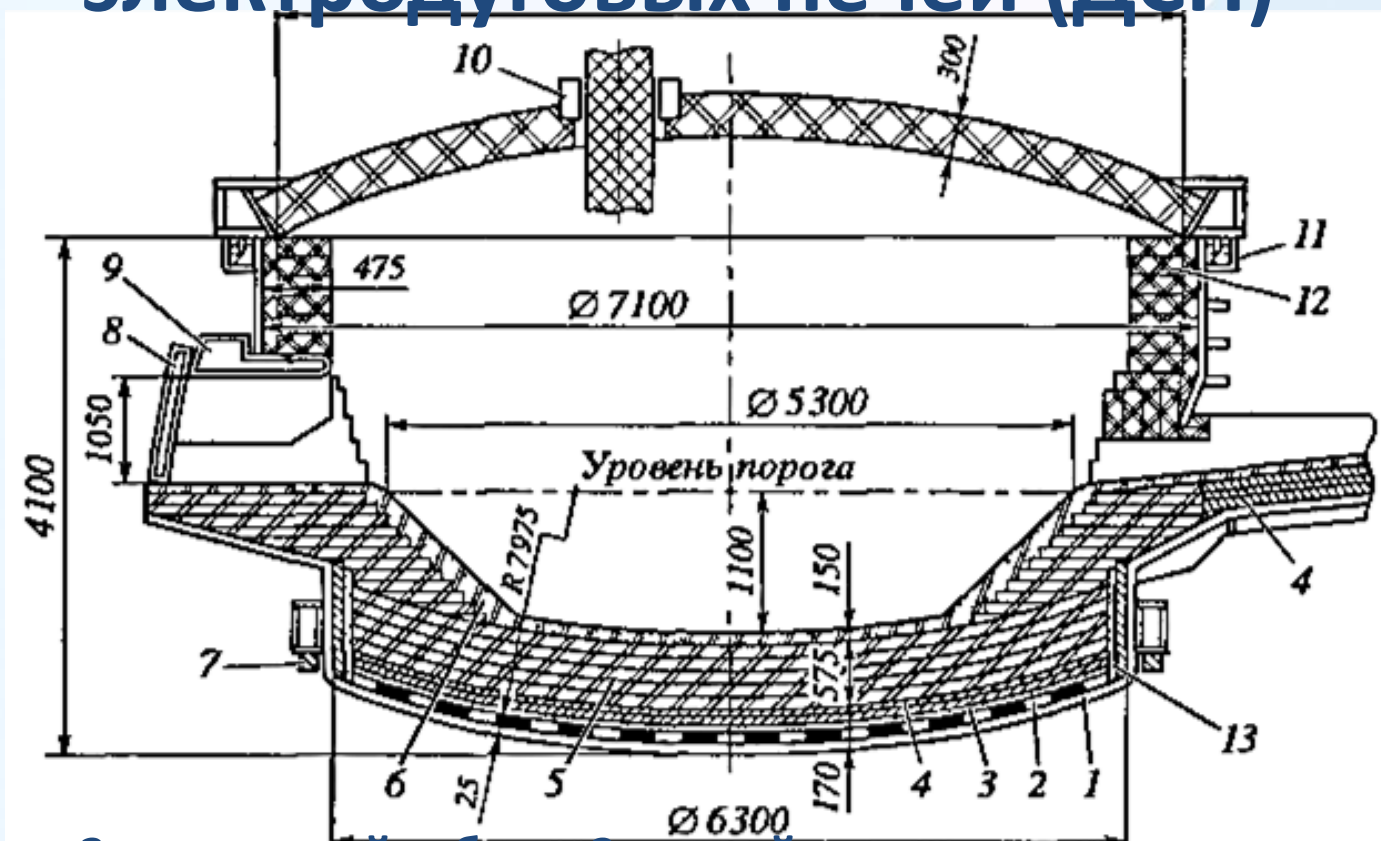
- а) поворотным сводом;***
- б) выкатным корпусом;***
- в) откатывающимся сводом.***

Печи с поворотным сводом бывают двух типов:

- с опорой механизма отворота свода на люльку;**
- с опорой механизма отворота свода на отдельный фундамент.**



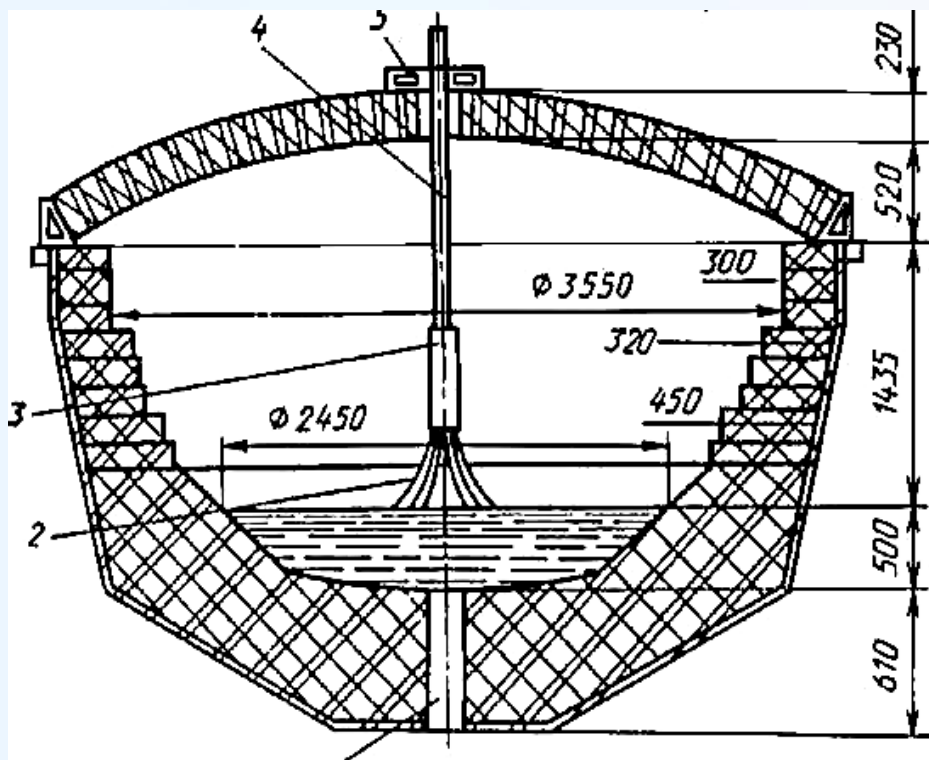
Рабочее пространство и футеровка электродуговых печей (ДСП)



- 1 — кожух; 2 — листовой асбест; 3 — слой шамотного порошка;
4 — шамотный кирпич; 5 — магнезитовый кирпич; 6 — магнезитовый порошок; 7 — кольцевой рельс; 8 — заслонка; 9 — рама рабочего окна;
10 — уплотняющее кольцо; 11 — кольцевой желоб;
12 — магнезитохромитовый кирпич; 13 — молотый асбест



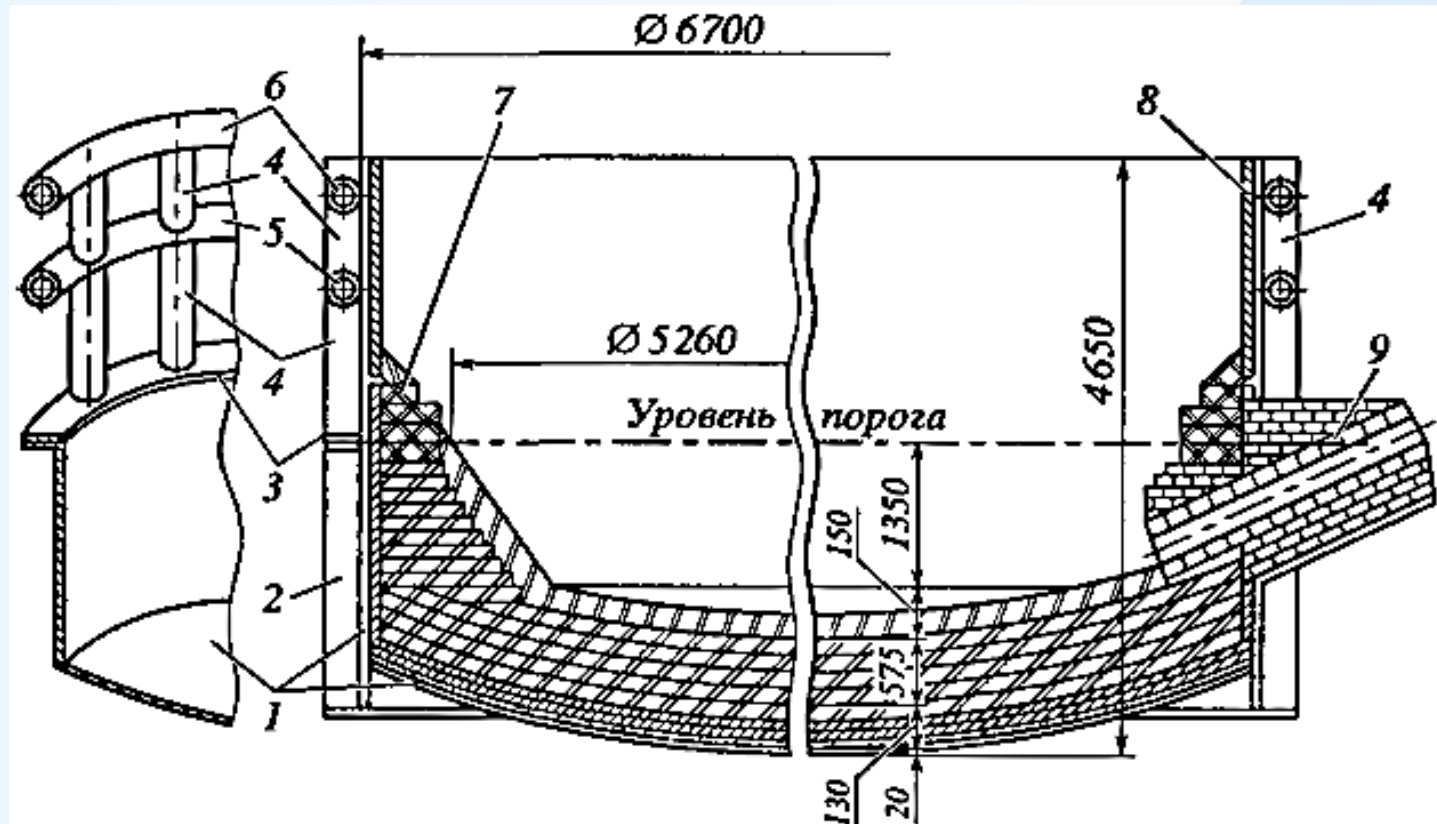
Дуговая печь постоянного тока (ДППТ)



Дуговая печь постоянного тока имеет один графитированный электрод (катод), расположенный по центру свода, и один охлаждаемый металлический электрод (анод), устанавливаемый в подине печи. Верхняя часть этого электрода соприкасается с расплавленным металлом, а к противоположной части присоединяется токоподвод. Сводный электрод 3 может вводиться в печь на водоохлаждаемом держателе 4 через экономайзер 5, расположенный в центре свода. Подовый электрод 1 представляет собой систему металлических стержней, расположенных в набивной магнезитовой подине. Верхним концом стержни контактируют с расплавленным металлом в печи, а противоположные концы стержней заделаны в общую охлаждаемую водой или воздухом плиту, к которой присоединен токоподвод. Для нормальной эксплуатации электрода 1 в печи при выпуске оставляют немного жидкого металла, закрывающего электрод при последующей загрузке шихты. Электрическая дуга 2 между электродом 3 и металлом в печи имеет форму спирали, радиус витков которой увеличивается по направлению от электрода 3 к расплавляемому металлу. Взаимодействие тока дуги с собственным магнитным полем приводит к интенсивному вращению столба дуги вокруг центральной оси спирали, так что дуга визуально воспринимается в виде усеченного конуса.



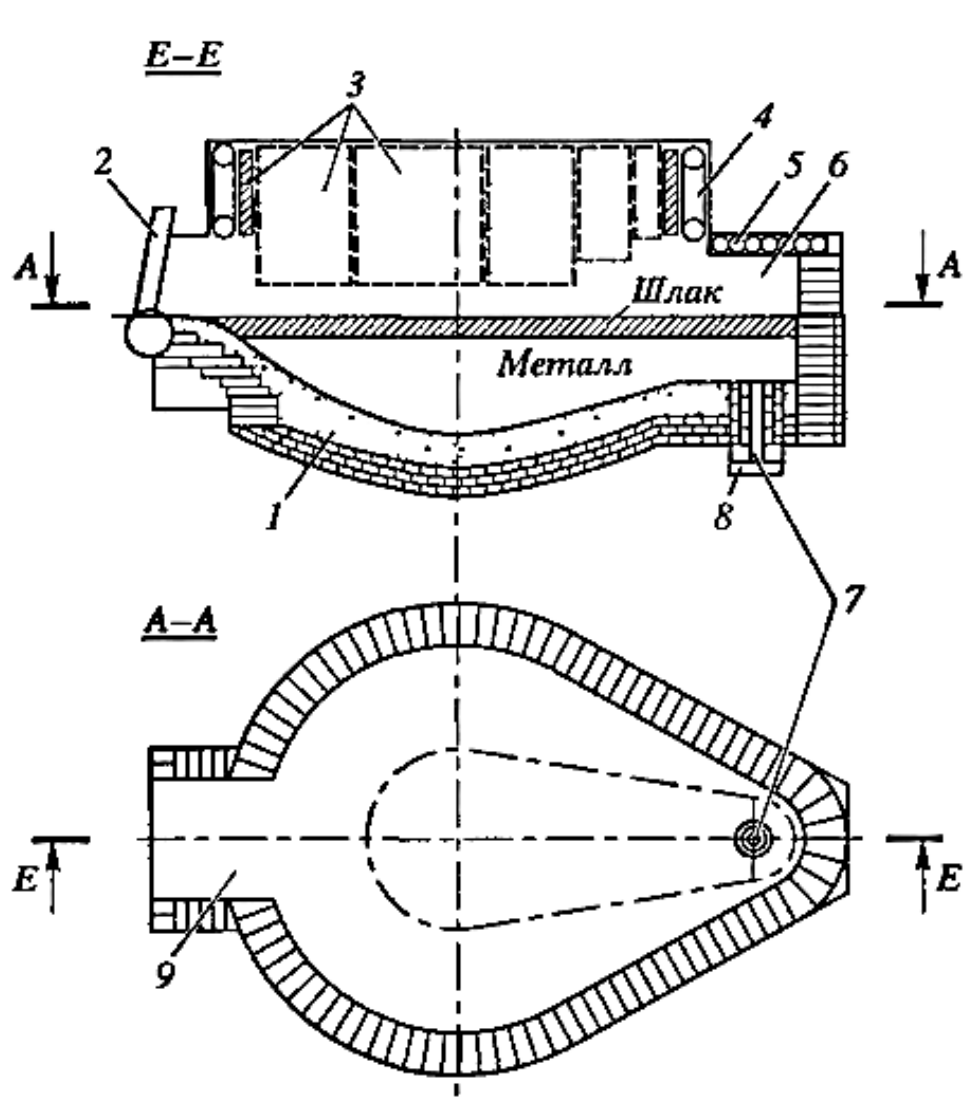
100-т печь с сифонным выпуском металла и водоохлаждаемыми стенами



- 1 — нижняя часть кожуха; 2 — ребро жесткости (стальная пластина);
3 — фланец; 4, 5, 6 — трубы; 7 — кладка низа стен;
8 — стеновая водоохлаждаемая панель; 9 — трубки из магнезита



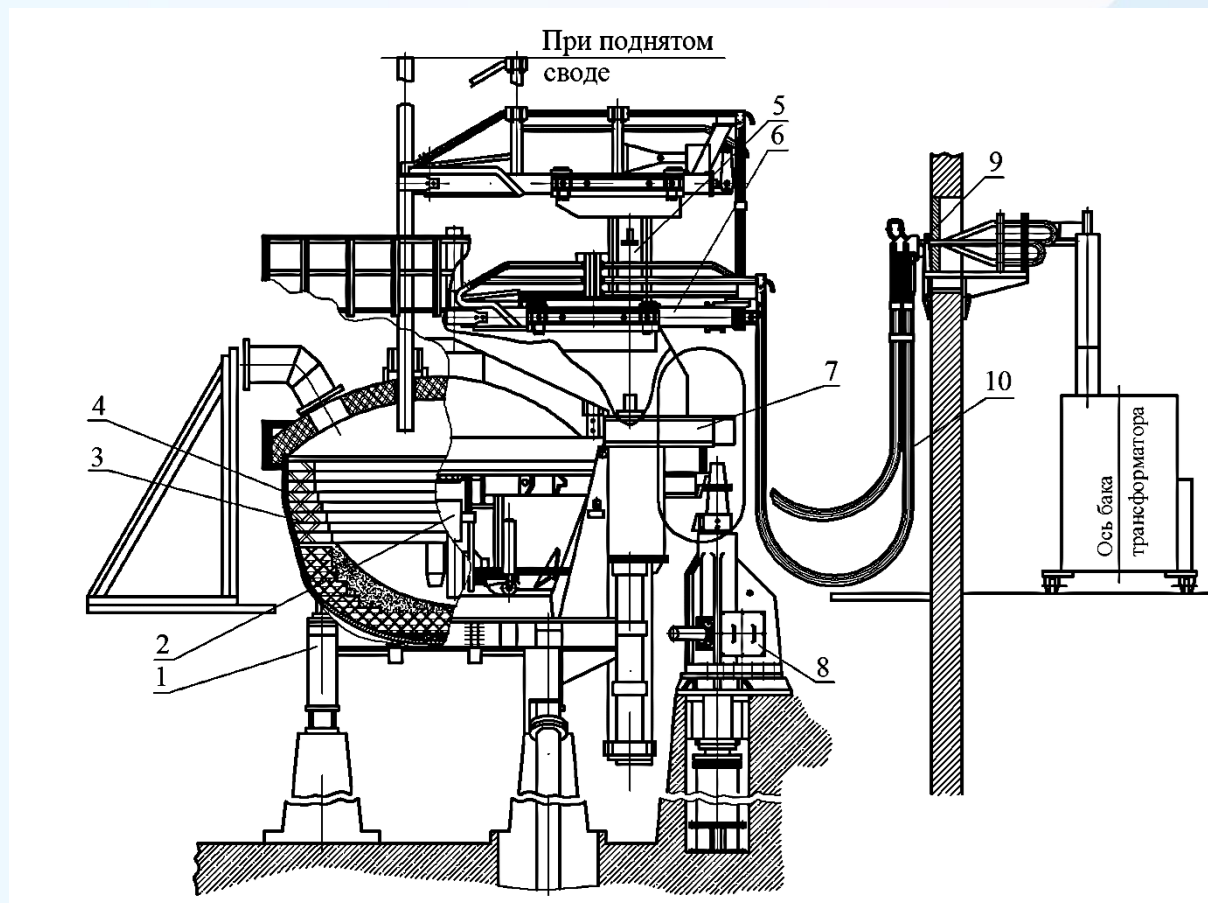
Рабочее пространство печи с эркерным выпуском



- 1 — утолщённый набивной слой пода;
- 2 — заслонка;
- 3 — стеновая панель;
- 4 — трубчатый каркас стен;
- 5 — сводик эркера;
- 6 — эркер;
- 7 — сталевыпускное отверстие;
- 8 — запорная пластина;
- 9 — рабочее окно



Общее устройство ДСТ

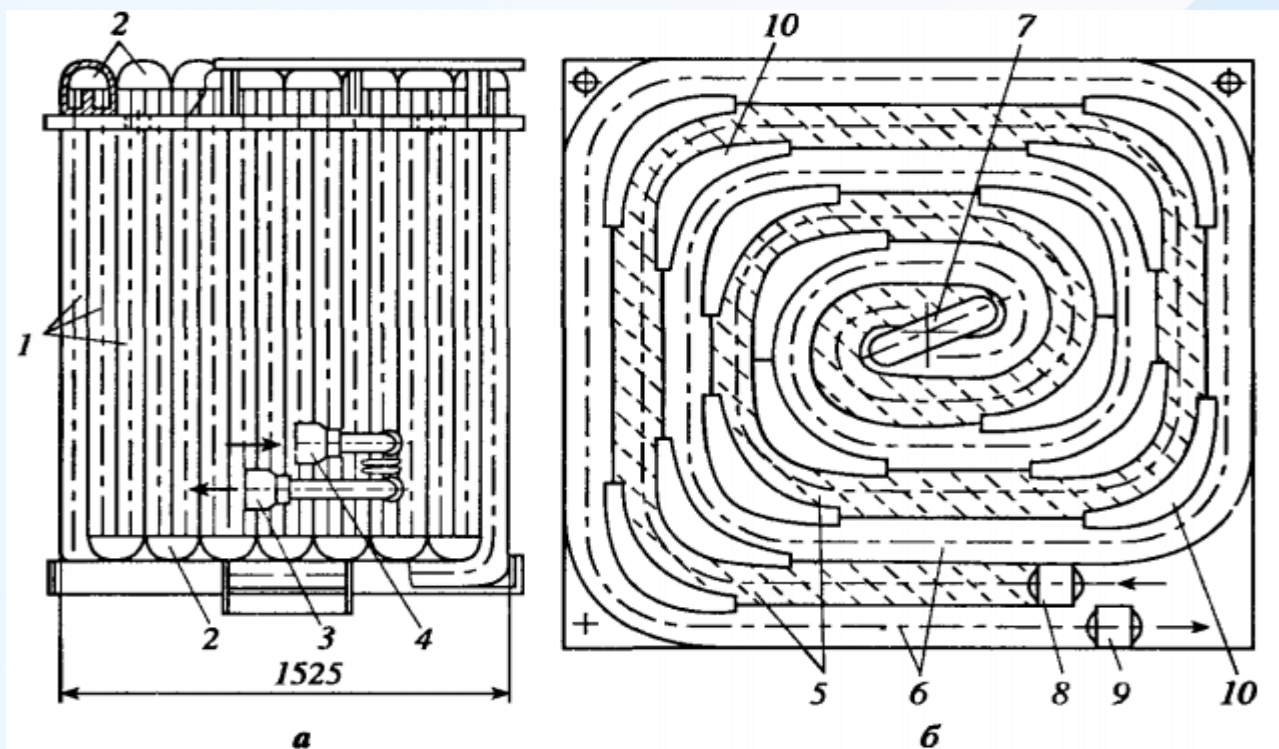


1 – механизм наклона; 2 – дверца рабочего окна; 3 – футеровка; 4 – каркас; 5 – стойка; 6 – электрододержатель; 7 – траверса; 8 – механизм подъема и поворота свода; 9 – шинопровод; 10 – кабельная гирлянда



Система охлаждения электропечи

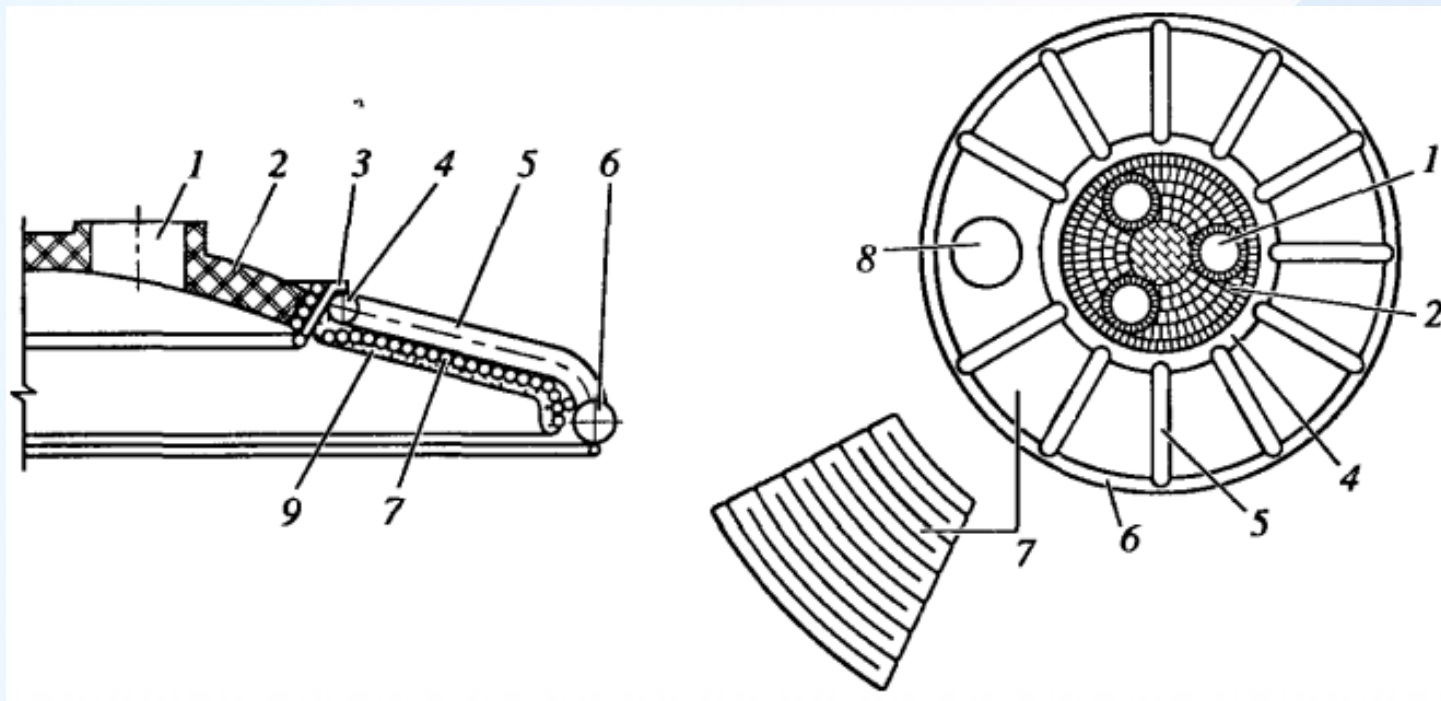
Трубчатые стеновые водоохлаждаемые панели



- а** - панель инофирмы; **б** - панель отечественной конструкции
- 1** - ряд параллельных труб; **2** - штампованные переходники для поворота воды на 180°; **3** и **4** - патрубki для отвода и подвода охлаждающей воды;
- 5** и **6** - трубы; **7** - патрубok; **8** и **9** - подвод и отвод воды;
- 10** - привариваемые накладки



Водоохлаждаемый трубчатый куполообразный свод

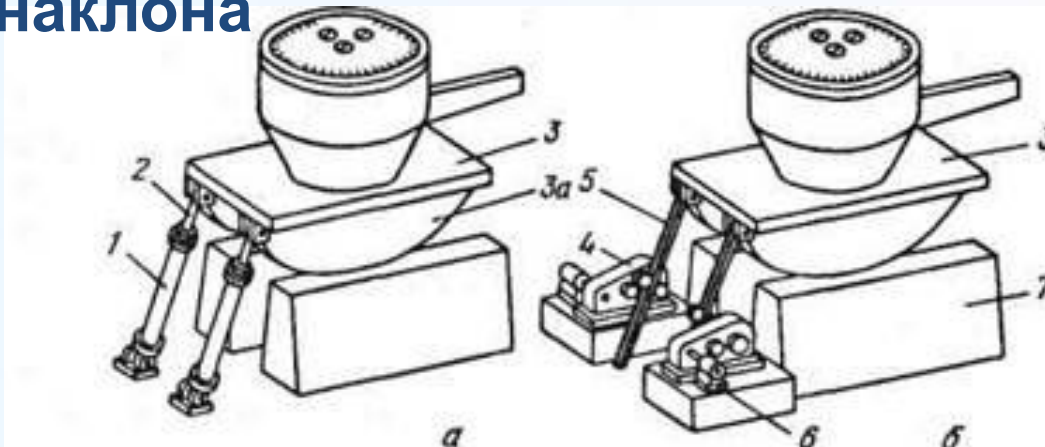


Свод имеет водоохлаждаемый несущий каркас из верхнего 4 и нижнего 6 трубчатых колец, соединенных изогнутыми трубами (радиальными балками) 5. Снизу к каркасу прикреплены трубчатые водоохлаждаемые панели 7, на которых снизу образуется слой гарниссажа 9, удерживаемый приваренными к панелям шлакодержателями. Одна из панелей выполнена с отверстием 8 для отвода печных газов. Центральная куполообразная часть 2 свода является съемной, она выложена из магнезитохромитовых кирпичей, удерживаемых водоохлаждаемым трубчатым опорным кольцом 3.



Механическое оборудование печей

Опора печи и механизмы ее наклона



Для опоры корпуса печи на фундамент и для наклона печи при сливе металла служит люлька **3**. Она выполнена в виде горизонтальной сварной коробчатой плиты с двумя опорными сегментами (**3а**). Механизм наклона может быть с гидравлическим (**а**) или электромеханическим (**б**) приводами. В первом случае подаваемая в гидроцилиндры **1** под давлением жидкость вызывает выдвижение или опускание штоков **2**, во втором - электродвигатели **6** с редукторами **4** обеспечивают продольное перемещение зубчатых реек **5**.

При перемещении штоков или реек опорные сегменты люльки перекатываются по горизонтальным фундаментным балкам опорных станин **7** печи, что вызывает качение люльки и наклон печи.

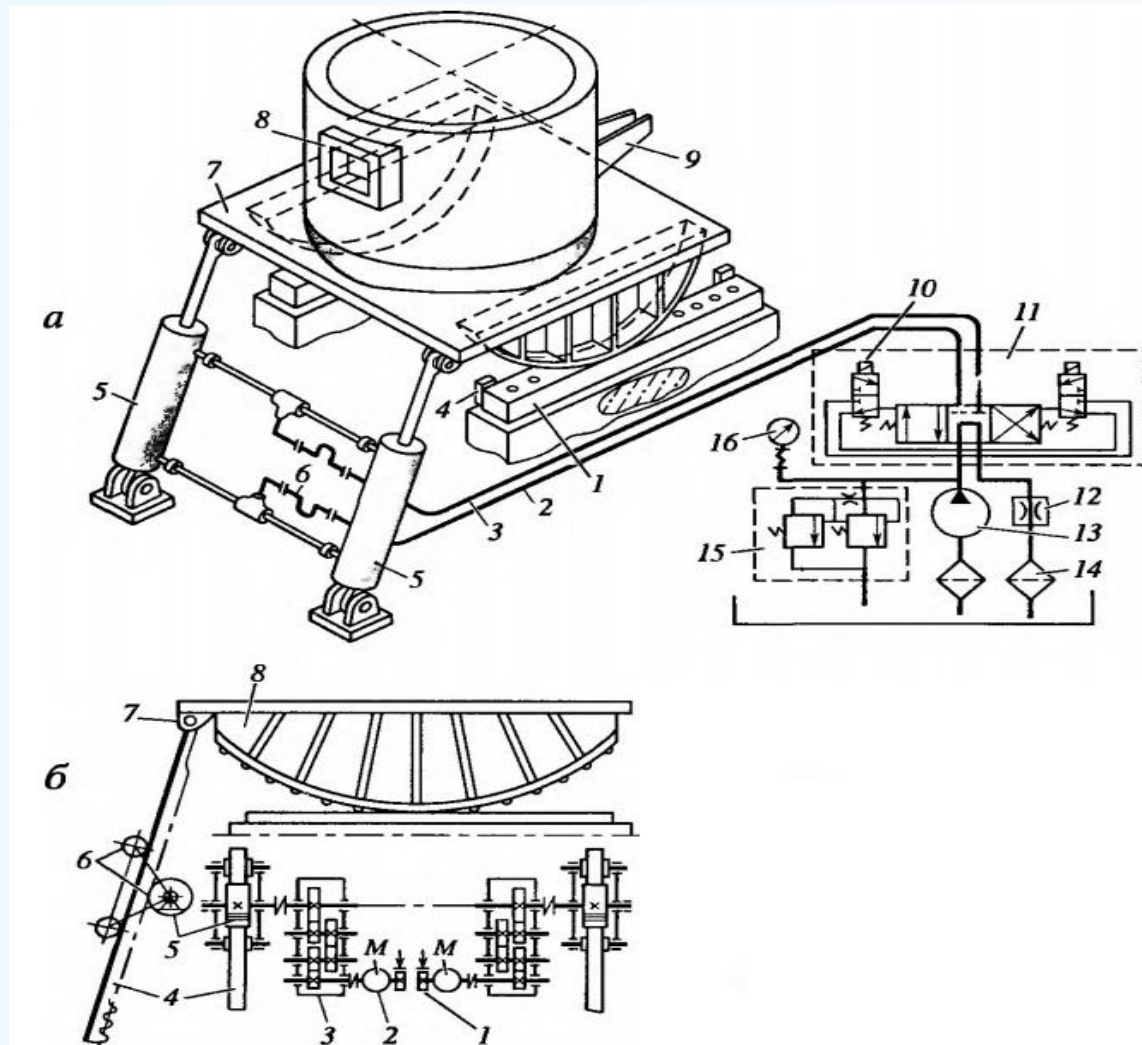
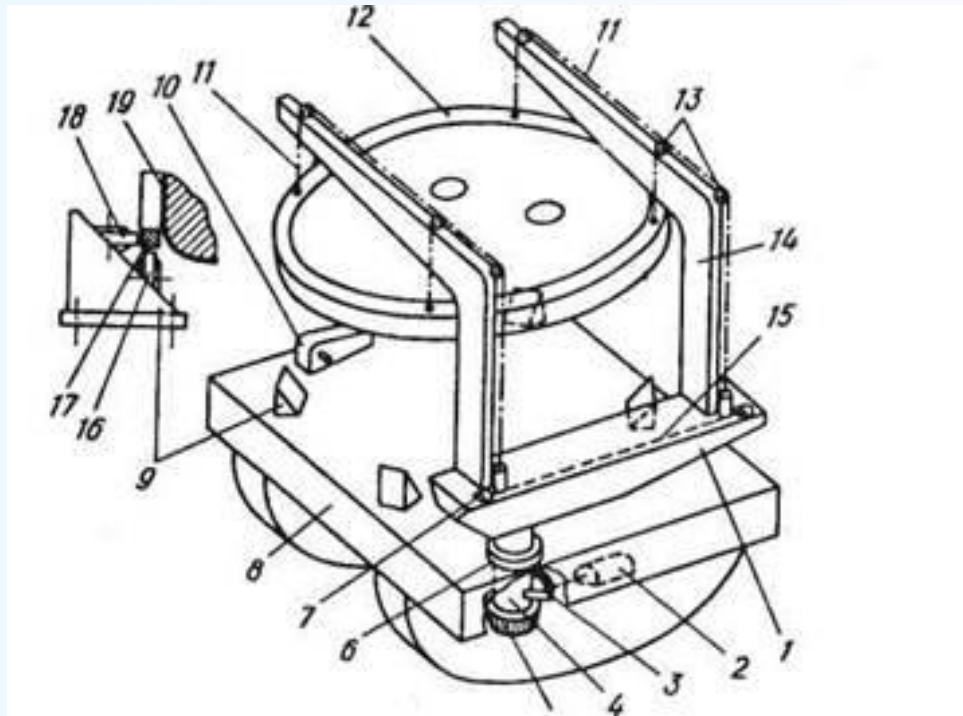


Схема механизмов наклона печей с гидравлическим (а) и электромеханическим с реечной передачей (б) приводами



Механическое оборудование печи с опорой механизмов подъема-поворота свода на люльку



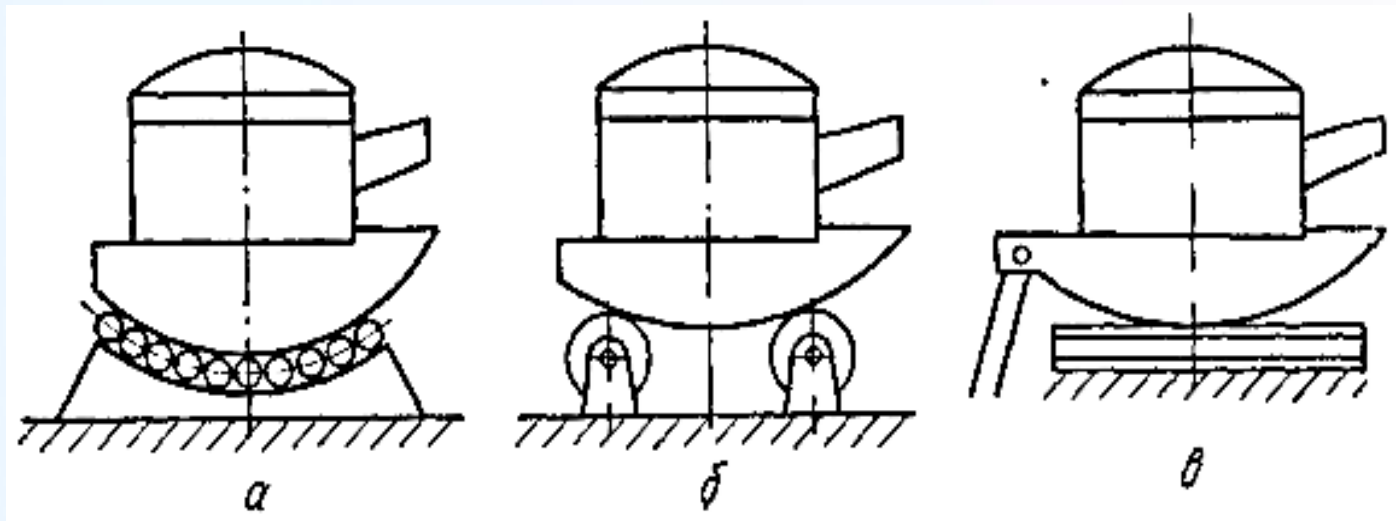
1 – поворотная консоль; 2 – электродвигатель с редуктором; 3 – конический зубчатый сектор; 4 – вал; 5 – подпятник; 6 – верхний опорный роликовый подшипник; 7 – привод (электродвигатель и червячный редуктор с тяговым винтом); 8 – люлька; 9 – опорные тумбы; 10 – механизм вращения; 11 – цепи; 12 - свод; 13 – ролики; 14 – Г-образные стойки; 15 – синхронизирующий вал; 16 – ролики опорных тумб; 17 – кольцевой рельс; 18 – ролики, предотвращающие боковое смещение корпуса; 19 – корпус печи



Системы опор печи на фундамент

Основным фактором, определяющим главные конструктивные особенности печи, является способ загрузки металлического лома.

Существуют два способа загрузки шихты: через рабочее окно мюльдами и сверху через открытый свод загрузочными корзинами (бадьями). Способ загрузки в определенной степени влияет на выбор системы опоры печи на фундамент.

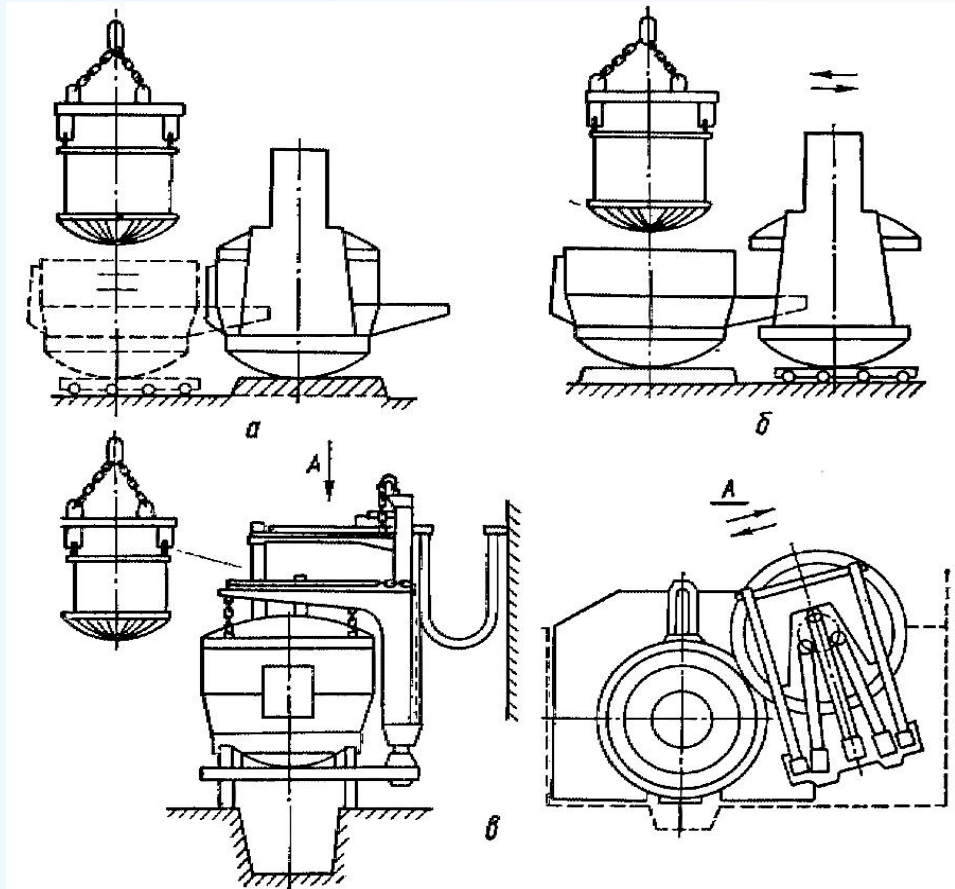


а, б - установки на секторах, катающихся по роликам;

в - установка на опорных секторах, перекатывающихся по горизонтальной станине



Схемы устройства электропечей, загружаемых сверху



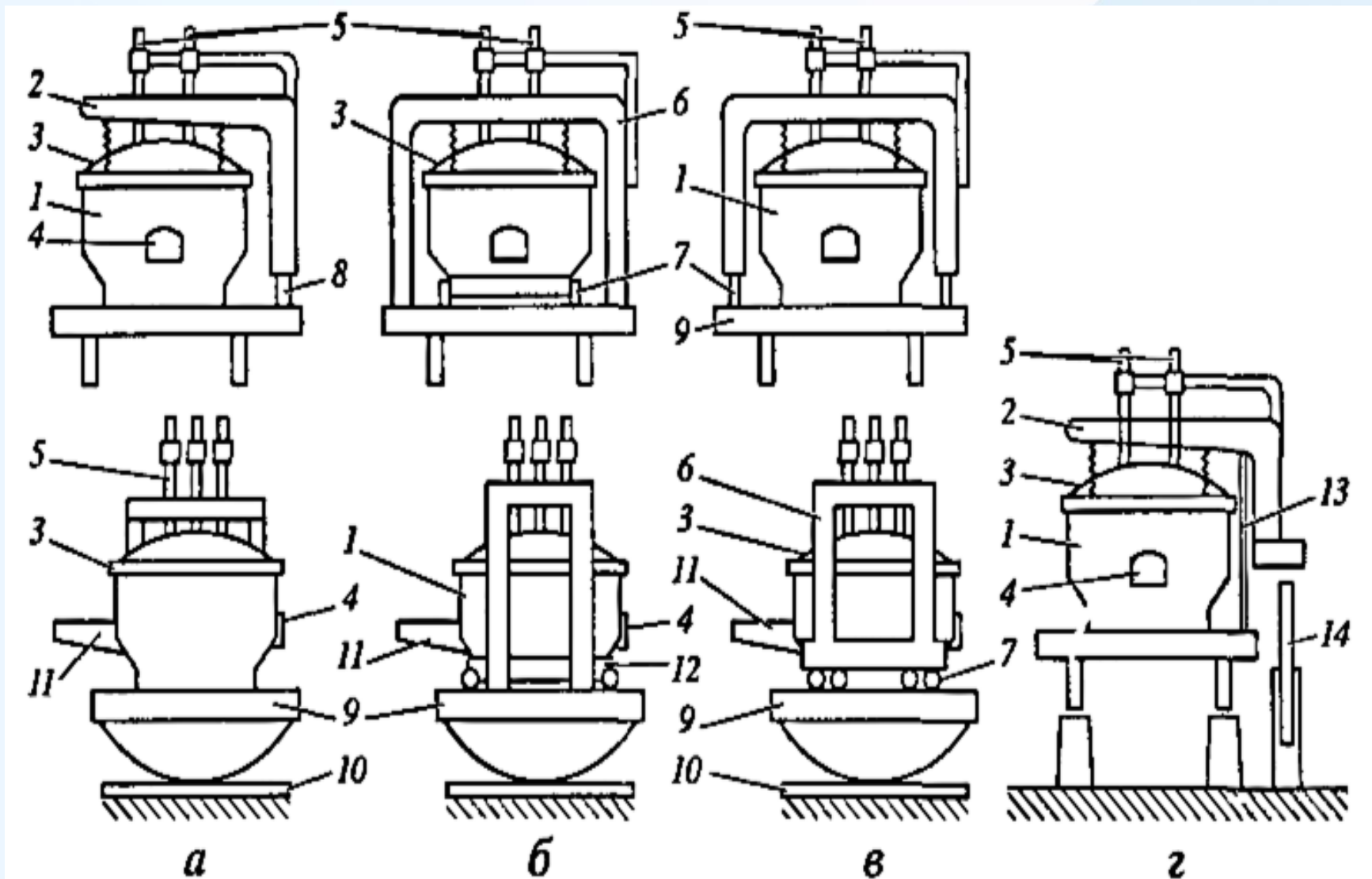
Загрузка шихты сверху проводится при помощи специальных загрузочных устройств – бадьи с открывающимся подвижным дном. Рабочее пространство печи открывается путем выката корпуса печи из-под портала, на котором подвешен свод (а), или портала со сводом (б), или отворотом свода от печи на $60...85^\circ$ (в).

У современных печей первой разновидности (**вид а**) свод подвешен к полупорталу 2, который вместе с электродами 5 и системой их перемещения закреплен на поворотном валу 8, опирающемся на люльку 9. Для загрузки шихты свод поднимают на 150-300 мм, подтягивая к полупорталу, а электроды поднимают, выводя из рабочего пространства. Затем вращением вала 8 отворачивают свод с электродами на угол 85° , открывая тем самым рабочее пространство. Наклон печи в сторону сливного желоба 11 и рабочего окна 4 обеспечивают качанием люльки.

Печь второго типа (одна из разновидностей, **вид г**) оборудована подвижной колонной 14, которая опирается на фундамент и снабжена приводами ее подъема и поворота. В нижнем положении полупортал 2 вместе с системой перемещения электродов опирается через две стойки 13 на люльку, а свод на печь. Для открывания рабочего пространства колонна 14 движется вверх и, входя в зацепление с полупорталом, поднимает его со сводом и электродами, а затем, поворачиваясь, отводит свод с электродами от печи; предварительно электроды выводят из рабочего пространства. Люлька наклоняется с печью.



Схемы устройства электропечей, загружаемых сверху





У печи с выкатным корпусом (вид **б**) портал **б** жестко закреплен на люльке **9**, к порталу подвешен свод **3** и на портале крепятся электроды **5** с системой их перемещения. Кожух **1** печи установлен на тележке **12**, которая с помощью ходовых колес **7** может передвигаться по рельсам, уложенным на люльке. Перед загрузкой свод поднимают, электроды выводят из рабочего пространства, после чего кожух выкатывают из под портала в сторону рабочего окна **4**. Люлька обеспечивает наклон печи вместе с порталом.

Распространена и другая разновидность печей с выкатным корпусом. В них люлька и портал со сводом и электродами опирается на два отдельных опорных сегмента. Кожух печи закреплен на люльке и выкатывается из-под портала вместе с люлькой. При наклоне печи люльку замковым устройством жестко соединяют с опорными сегментами портала, сегменты люльки и портала имеют одинаковой радиус кривизны, чем обеспечивается совместный синхронный наклон кожуха и портала.



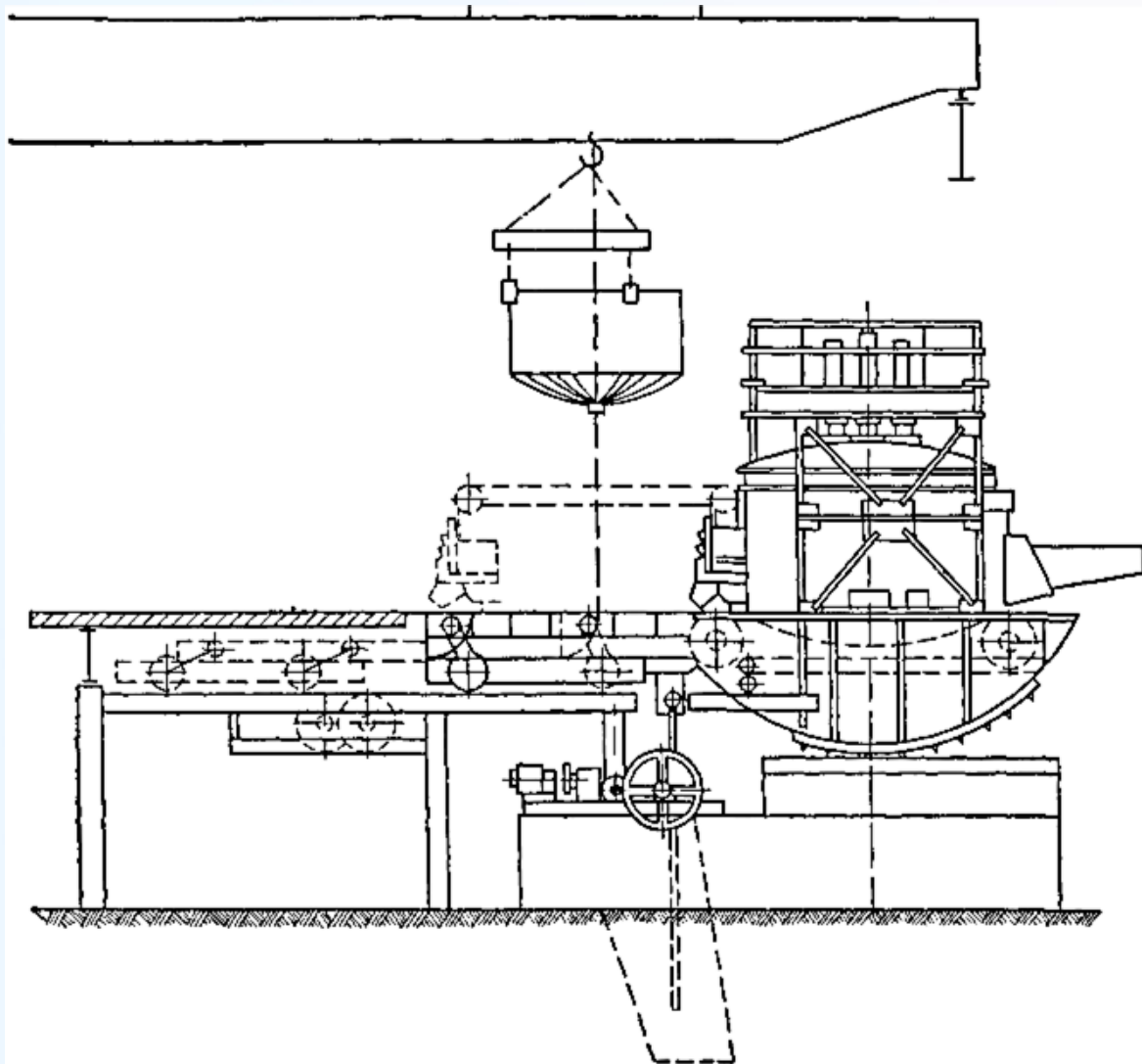
В печи с откатывающимся сводом (вид в) портал 6 и кожух 1 опираются на общую люльку 9, причем портал установлен на ходовых колесах 7, и может перемещаться по рельсам уложенным на люльке; к порталу крепятся свод 3 с электродами. Перед загрузкой свод с электродами 5 поднимают, и портал откатывается, съезжая с люльки в сторону желоба 11 или рабочего окна 4.

Качанием люльки обеспечивают наклон печи вместе с порталом; портал при наклоне жестко скрепляют с люлькой специальными упорами. В настоящее время печи с выкатным корпусом и откатывающимся сводом считаются **устаревшими**.

В последние годы строят более совершенные печи с **поворотным** сводом.

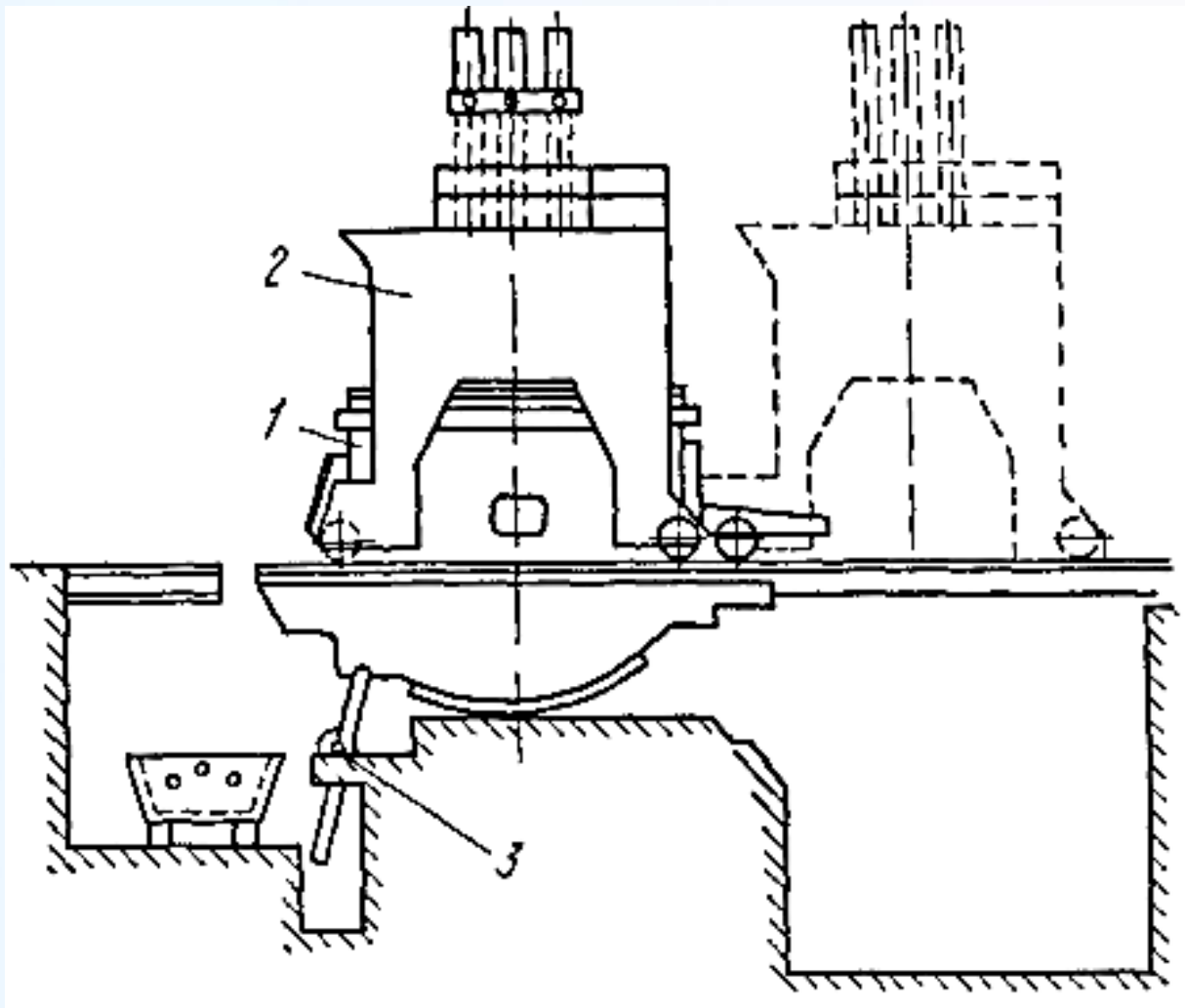


Печь с выкатным корпусом





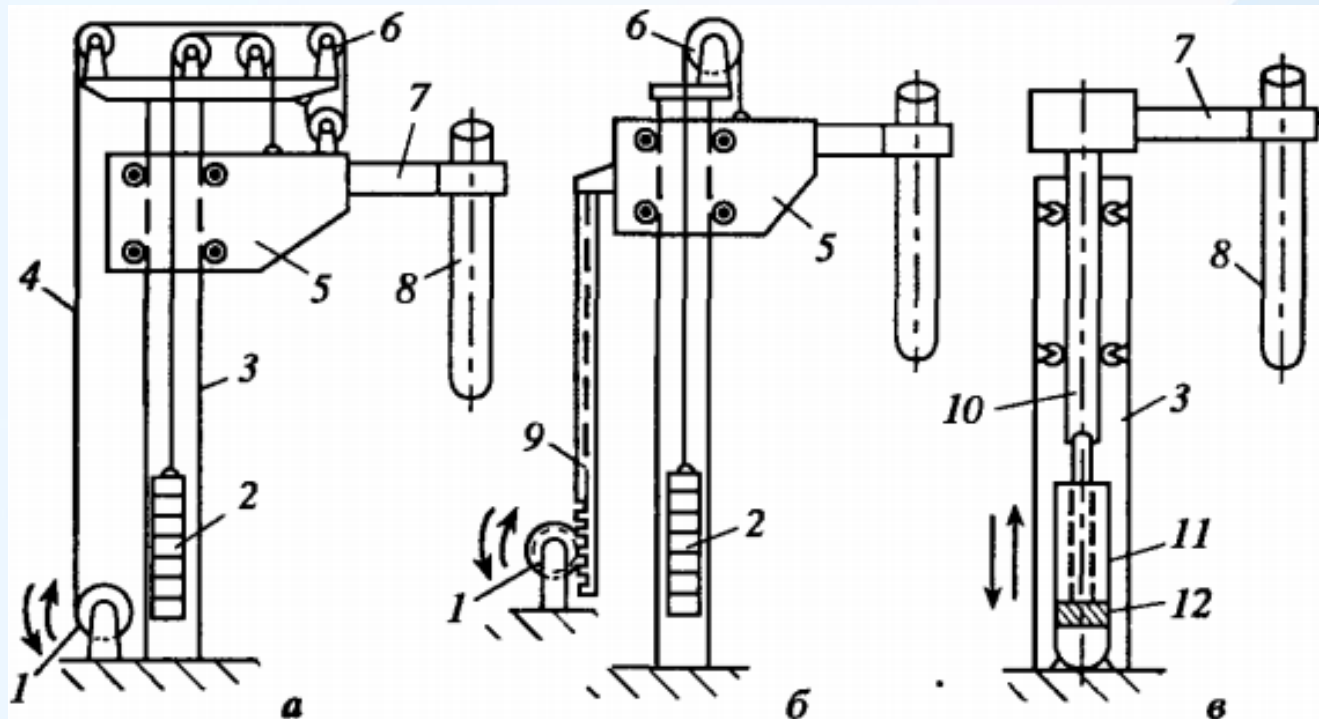
Печь с откатным порталом



1 — кожух, 2 — откатной портал; 3 — механизм наклона



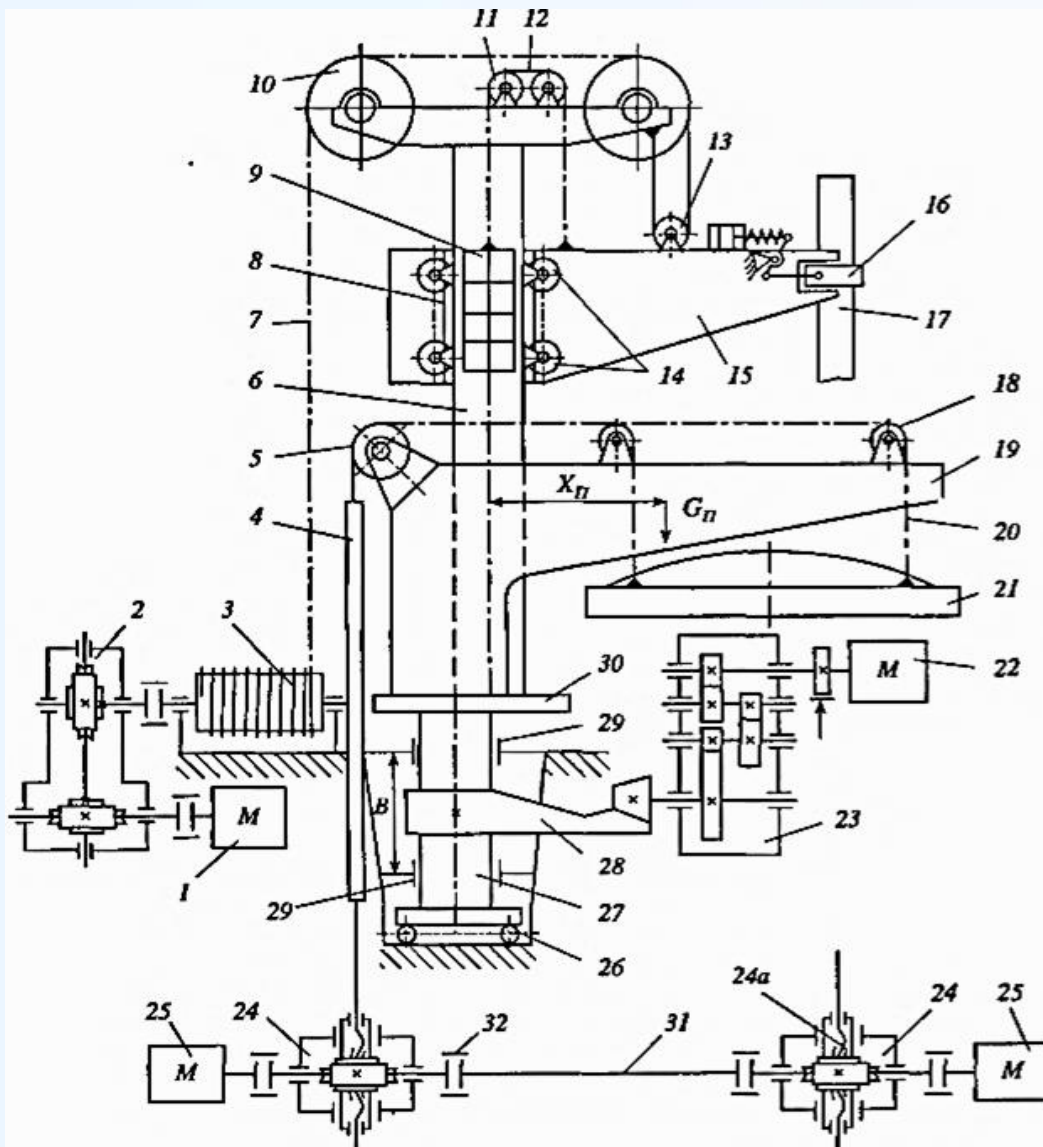
Схема механизмов перемещения электродов



- а - с электромеханическим канатным приводом;
б - с электромеханическим реечным 9 приводом;
в - с подвижной стойкой 10 и гидравлическим приводом 11.
1 - привод (барabanная лебедка); 2 - противовес;
3 - неподвижная вертикальная стойка; 4 - канат; 5 - каретка;
6 - ролики; 7 - рукав электрододержателя; 8 - электрод.



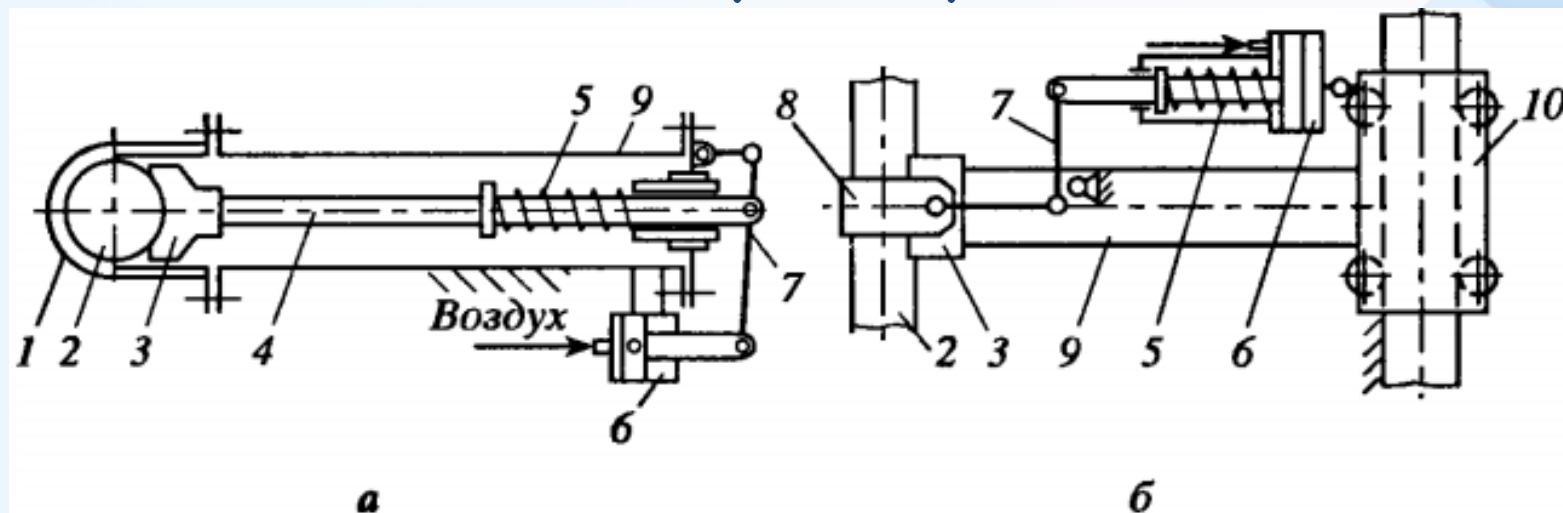
Кинематическая схема механизмов подъема, и поворота свода и перемещения электродов для печи с их опорой на люльку



- Механизм подъема свода
- Механизм поворота свода
- Механизм перемещения электродов



Схема электрододержателей

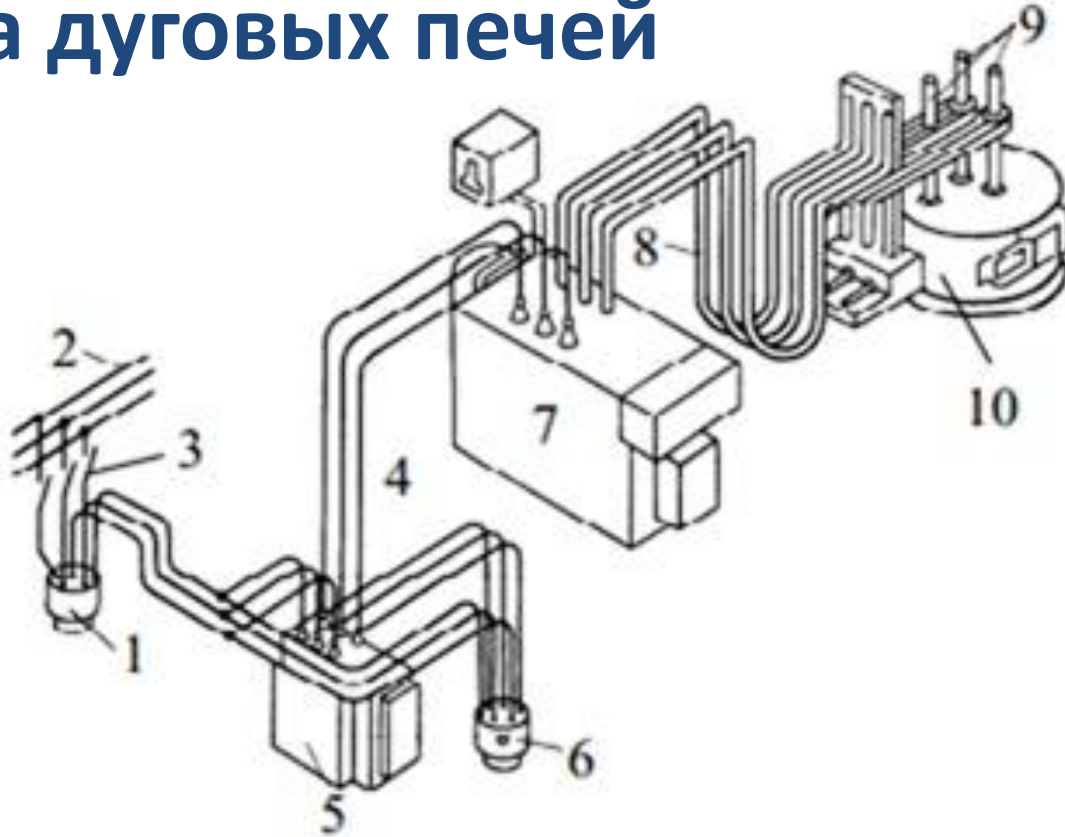


В схеме *а* головка выполнена в виде кольца или полукольца 1 и подвижной нажимной колодки 3. Электрод 2 в рабочем положении зажат в кольце колодкой за счет усилия пружины 5, установленной на штоке 4. Если нужно освободить электрод, то в пневмоцилиндр 6 подают воздух, поршень и рычажный механизм 7 сжимают пружину, перемещают колодку вправо, освобождая электрод.

В схеме *б* головка состоит из неподвижной колодки 3, закрепленной на рукаве 9, и хомута 8, охватывающего электрод 2. Электрод прижат к токоведущей колодке с помощью хомута за счет усилия пружины 5 передаваемого рычажной системой 7. При подаче воздуха в пневмоцилиндр 6 хомут смещается влево, освобождая электрод.

Головка электрически изолирована от рукава 9, на средних и крупных печах элементы головки охлаждают водой. Рукав делают из толстостенной трубы или сварной коробчатой балки. Ток к головке подают с помощью шин или медных водоохлаждаемых труб, закрепленных на изоляторах сверху рукава.

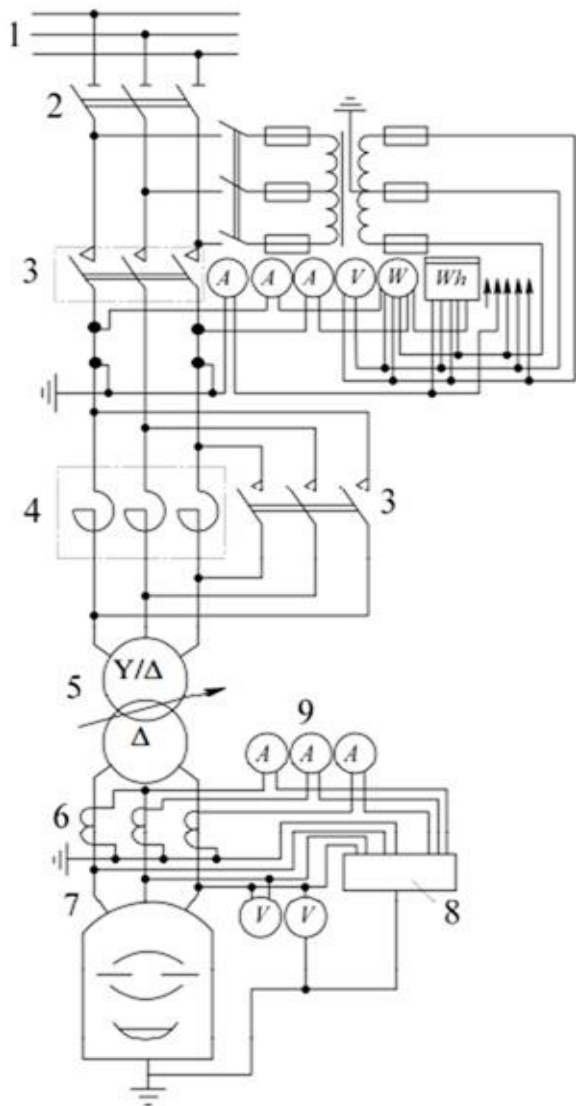
Электрооборудование и электрическая схема дуговых печей



1, 6 - выключатели; 2 - высоковольтные шины; 3 - разъединитель;
4 - высоковольтная сеть; 5 - реактор; 7 - печной трансформатор;
8 - короткая сеть; 9 - электроды; 10 - электродуговая печь



Схема электрических соединений дуговой печной установки



- 1 — высоковольтные шины;
 - 2 — разъединитель;
 - 3 — выключатели; 4 — реактор;
 - 5 — печной трансформатор;
 - 6 — измерительные трансформаторы;
 - 7 — короткая сеть;
 - 8 — автоматический регулятор мощности;
 - 9 — приборы контроля:
- A — амперметр; V — вольтметр;
W — ваттметр; Wh — счетчик;
Y/Δ — соединение обмоток трансформатора



В зависимости от **силы тока** в цепи электроплавильной установки различают следующие **режимы** работы:

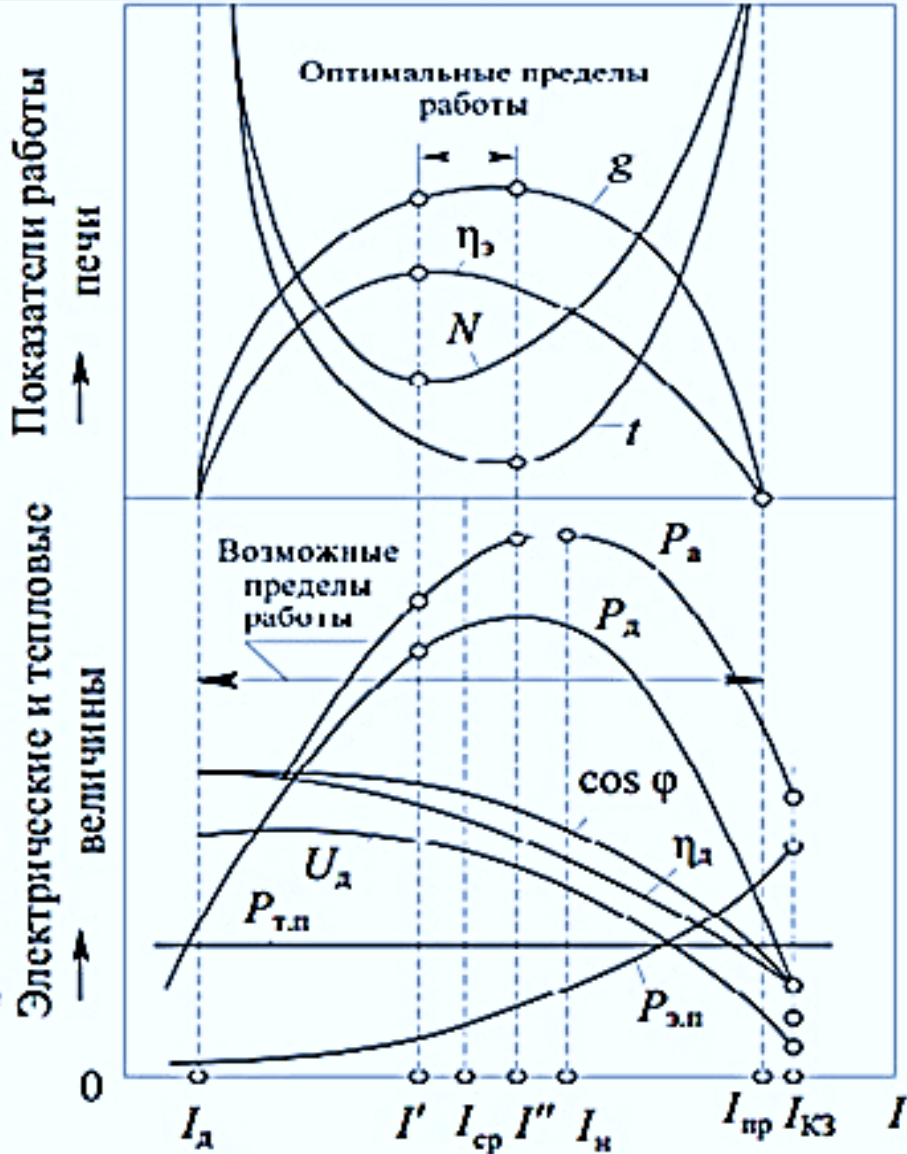
- а) режим **холостого хода** (дуги не горят, $I = 0$);
- б) **нормальный** режим ($I = I_n$);
- в) режим эксплуатационного **короткого замыкания** ($I = I_{кз}$).

По цикличности и времени нагрузки печи различают **непрерывный** режим и режим с **нагрузкой, меняющейся** в течение плавки.

Производительность дуговой сталеплавильной печи и расход электроэнергии зависят от **мощности** дуг, потерь **электроэнергии** и связаны с рабочим **током** установки.



Электрические и рабочие характеристики ДСП



g - производительность печи;
 $\eta_{э}$ - электрический КПД;
 N - удельный расход электроэнергии;
 t - время расплавления;
 P_a - полная активная мощность дуговой сталеплавильной печи;
 P_d - мощность дуги;
 $\cos \varphi$ - коэффициент мощности;
 U_d - напряжение на дуге;
 η_d - КПД дуги;
 $P_{т.п}$, $P_{э.п}$ - тепловые и электрические потери;
 I_d - ток дуги;
 $I_{ср}$ - величина тока при оптимальном режиме работы;
 I_n - нормальный режим работы;
 $I_{пр}$ - предельное значение рабочего тока;
 $I_{кз}$ - ток короткого замыкания