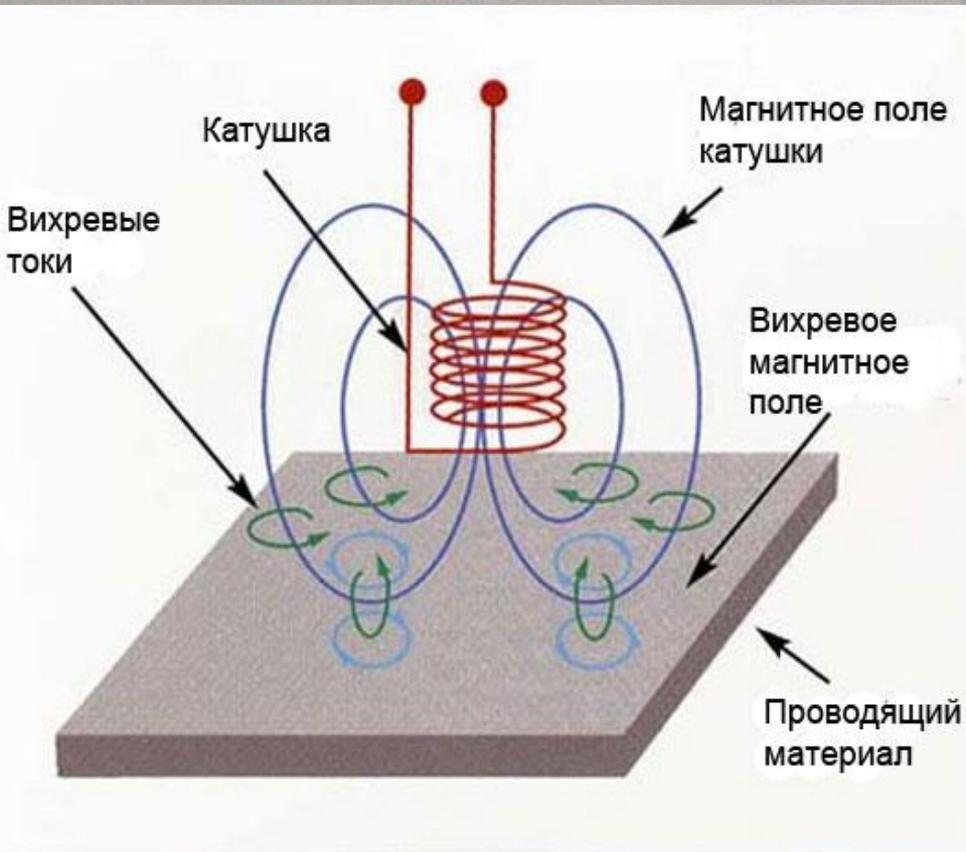




# Индукционные печи

Доклад выполнили:  
Австрийская Анастасия  
Елисеев Кирилл  
Малыш Максим  
Никонова Алина

# Индукционный нагрев в ИП



Преобразование энергии электромагнитного поля в тепловую энергию при помощи наведённых вихревых токов

Физическая основа:

- Закон электромагнитной индукции
- Закон Джоуля-Ленца
- Показатели:
- Высокая напряжённость электромагнитного поля
- Высокая частота тока питающей сети  $f$

# Классификация индукционных установок

промышленно  
й частоты

50 Гц

питающиеся от сети  
непосредственно  
или через  
понижающие  
трансформаторы

повышенной  
частоты

500-10000 Гц

получающие  
питание от  
электромашинных  
или  
полупроводниковы  
х  
преобразователей  
частоты

высокочастотн  
ые установки

66 000-440 000 Гц  
и выше,  
питающиеся от  
ламповых  
электронных  
генераторов.

# Классификация индукционных установок

Нагревательные

Плавильные

# Индукционные плавильные установки

Канальные  
печи

Вакуумные  
печи

Печи непрерывного  
действия

Устройства для  
зонной плавки

Устройства для  
гарнисажной плавки

Тигельные печи

Печи с холодным  
тиглем

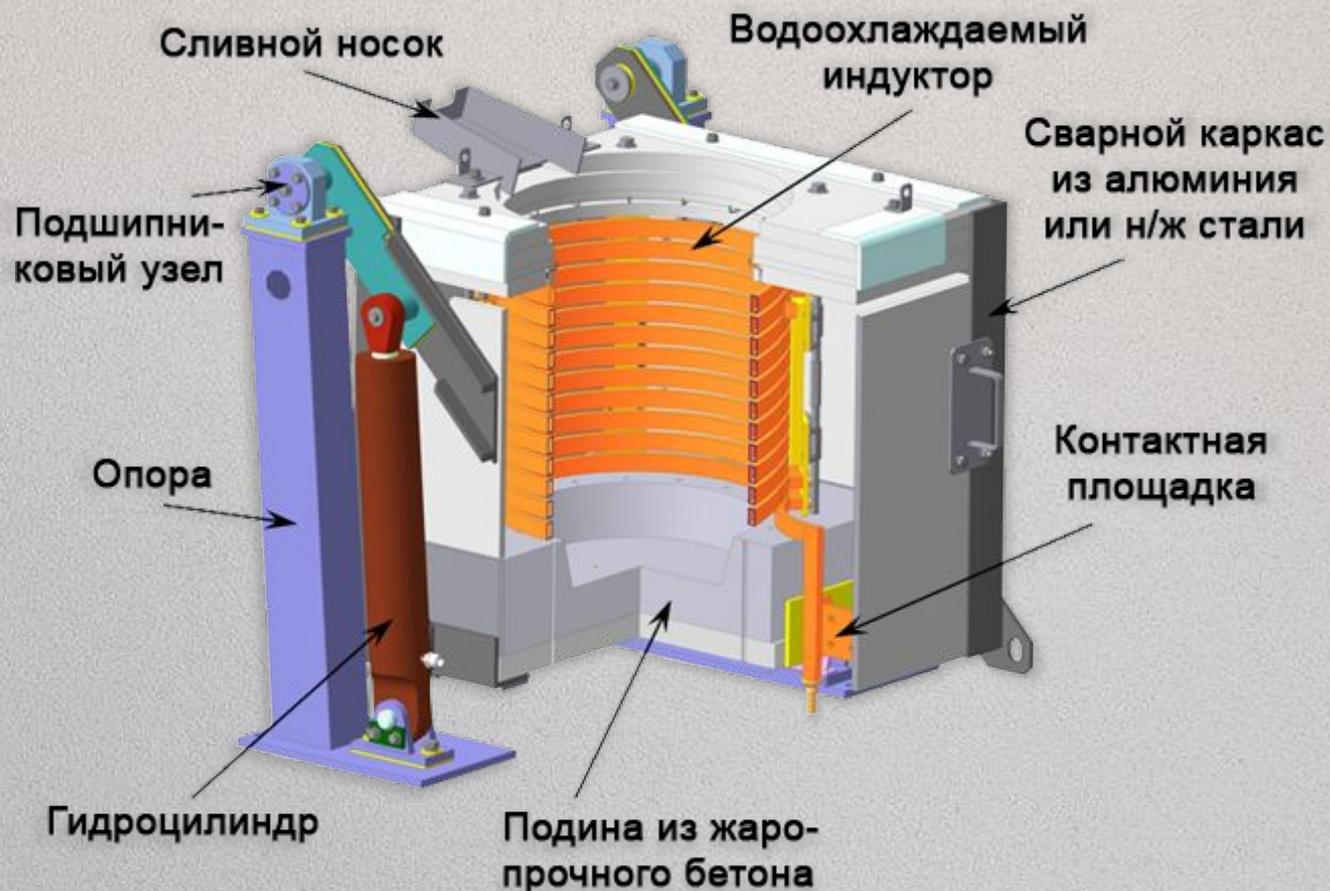
Устройства для  
зонной плавки

Устройства для плавки в  
электромагнитном тигле

Устройства для  
струйной плавки

# Конструкция

## Плавильный узел индукционной печи ИСТ



# Схема индукционной канальной печи

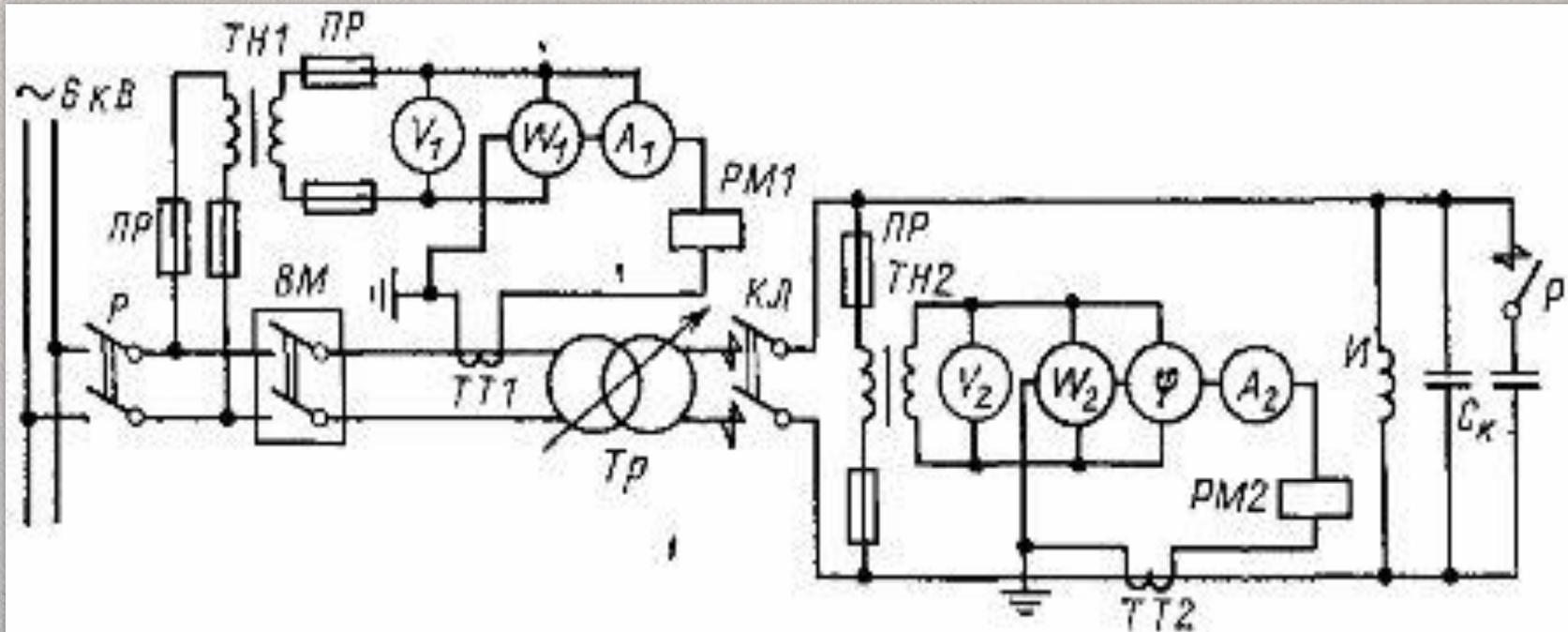


Рис. 1. Принципиальная схема питания индукционной единицы канальной печи: ВМ — выключатель мощности, КЛ — контактор, Тр — трансформатор, С — конденсаторная батарея, И — индуктор, ТН1, ТН2 — трансформаторы напряжения, ТТ1, ТТ2 — трансформаторы тока, Р — разъединитель, ПР — предохранители, РМ1, РМ2 — реле максимального тока.

# Схема индукционной тигельной печи

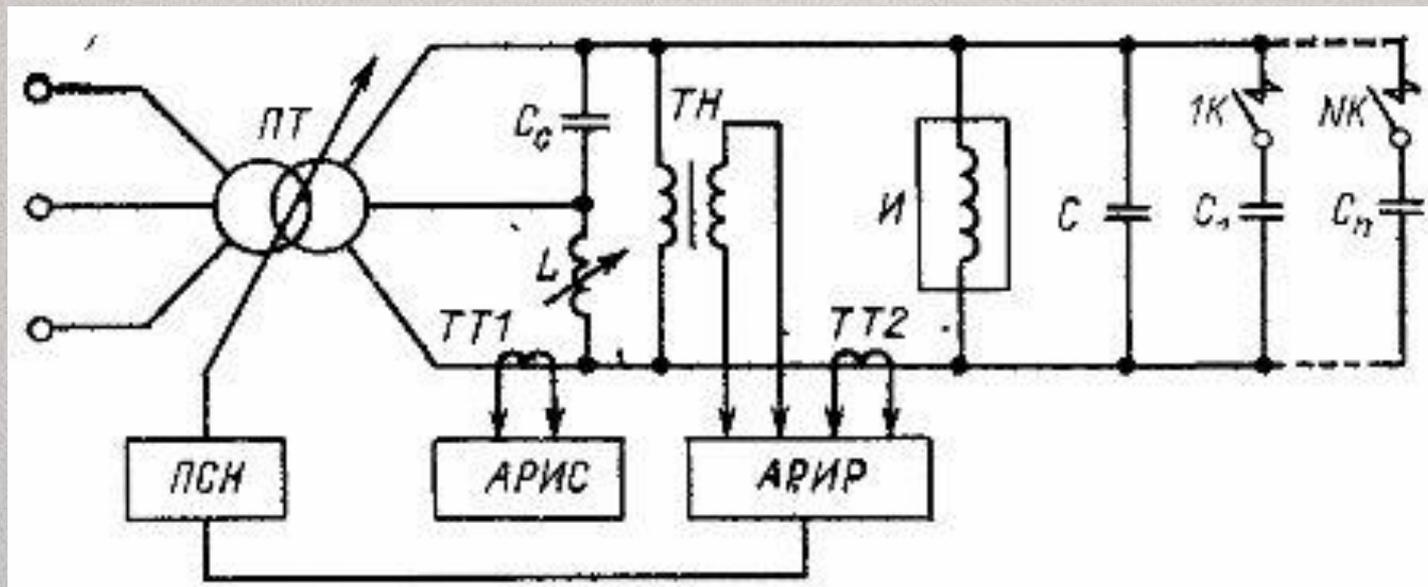


Рис. 2. Схема питания индукционной тигельной печи от силового трансформатора с симметрирующим устройством и регуляторами режима печи: ПСН — переключатель ступеней напряжения, С — симметрирующая емкость, L — реактор симметрирующего устройства, С-Ст - компенсирующая конденсаторная батарея, И — индуктор печи, АРИС — регулятор симметрирующего устройства, АРИР — регулятор режима, 1К—НК — контакторы управления емкостью батареи, ТТ1, ТТ2 — трансформаторы тока.

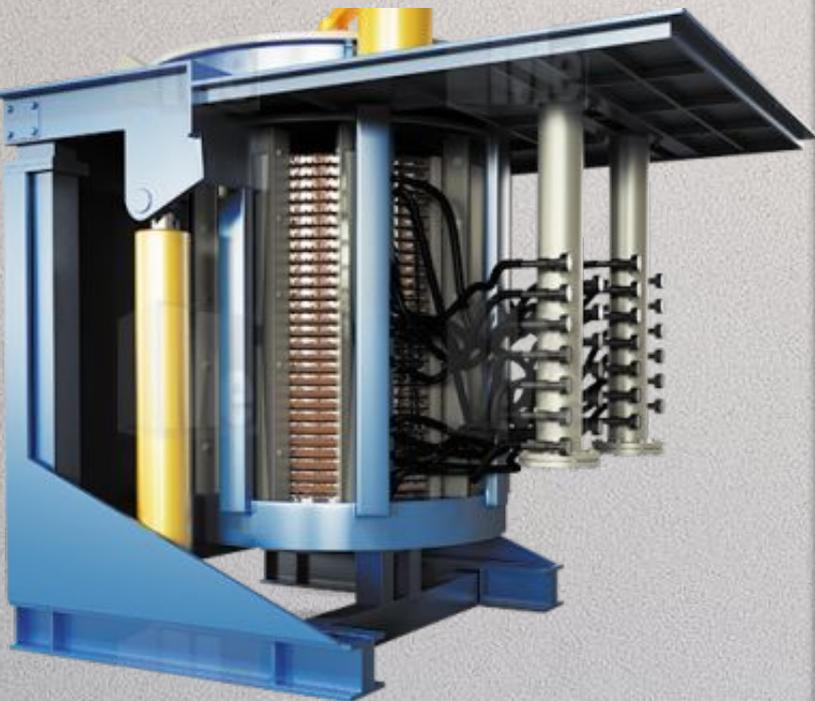
# Область применения тигельных печей



## Индукционные тигельные печи (ИТП) применяют

- ❶ для плавки черных и цветных металлов на воздухе, в вакууме и в защитных атмосферах;
- ❷ для плавки высококачественных сталей и других специальных сплавов, требующих особой чистоты, однородности и точности химического состава;
- ❸ В настоящее время ИТП повышенной и промышленной частоты широко применяют для плавки обычных тяжелых и легких цветных металлов и их сплавов в производствах с периодическим режимом работы и широким ассортиментом выплавляемых сплавов
- ❹ для плавки сильно загрязненной шихты с большим содержанием стружки или сплавов, требующих модифицирования.

# Область применения канальных печей



Индукционные канальные печи используются для плавки **цветных металлов** (медь и сплавы на медной основе – латуни, бронзы, мельхиоры, кунiali; цинк; алюминий и их сплавы) и чугуна, а также в качестве миксеров для тех же металлов. Использование для плавки стали ограничивается из-за недостаточной стойкости футеровки. Наличие в индукционных канальных печах электродинамического и теплового движения расплавленного металла или сплава обеспечивает однородность химического состава и равномерность температуры расплавленного металла или сплава в ванне печи. Индукционные канальные печи рекомендуется использовать в тех случаях, когда к выплавляемому металлу и полученным из него отливкам предъявляются высокие требования, в частности, по **минимальным газонасыщенности и неметаллическим включениям**.

# Область применения вакуумных печей



Индукционные вакуумные печи применяют:

- 1 для плавки черных и цветных металлов и их сплавов из чистых твердых шихтовых материалов;
- 2 рафинирования полупродукта на промышленной частоте;
- 3 переплава чистых металлов для фасонного литья.
- 4 Химически активные и особо чистые материалы получают в индукционных вакуумных печах с так называемым холодным тиглем, представляющим собой медный водоохлаждаемый тигель с продольными разрезами, через которые электромагнитные волны проходят к расплавленному материалу, не поглощаясь в электропроводном тигле.

# Характеристики Тигельных ИП

В настоящее время используются печи емкостью от десятков грамм до десятков тонн

Технические данные некоторых тигельных индукционных печей

Наименование и назначение печи	Тип печи	Емкость печи, т	Мощность печи, кВт	Частота, Гц	Напряжение на индукторе, В	Мощность конденсаторной батареи, квар	Максимальная рабочая температура, °С	Максимальная производительность, кг/ч	Удельный расход электроэнергии на расплавление, кВт·ч/т	Габаритные размеры, мм		Масса печи, т
										в плане	высота	
Индукционная тигельная для плавки стали	ИСТ-1,0	1,0	790	1000	2000	15600	1650	1330	625	2700x2120	3800	6,5
	ИСТ-2,5	2,5	2350	500	1910	22500	1600	4000	600	3000x2850	3740	15,4
	ИСТ-6	6,0	2330	500	1500	45000	1650	3500	600	-	-	-
	ИСТ-10	10,0	3200	500	1500	48000	1650	5000	640	-	-	-
Индукционная тигельная для плавки чугуна	ИЧТ-2,5	2,5	910	50	980	-	1400	1700	550	3164x3000	3620	17
	ИЧТ-6	6,0	1600	50	1000	-	1400	2200	546	4815x3120	4620	28
Индукционный тигельный миксер для перегрева чугуна	ИЧТМ-6	6,0	370	50	500	-	1400	6000	52	5350x3120	6500	28
	ИЧТМ-10	10,0	840	50	1255	-	1400	17600	48	5700x3600	7100	35,7
Индукционная тигельная для плавки алюминия и его сплавов	ИАТ-0,4	0,4	170	50	340	-	750	230	745	3164x3000	3100	-
	ИАТ-1	1,0	320	50	485	-	750	1300	580			
	ИАТ-6	6,0	1400	50	1050	-	750	2000	560			
Индукционная тигельная для плавки меди и ее сплавов	ИЛТ-1	1,0	325	50	485	-	1200	1000	380	Изложница	1000	6,5
	ИЛТ-2,5	2,5	720	50	980	-	1200	2000	355			
	ИЛТ-10	10,0	1290	50	1050	-	1200	3600	350			
<i>Вакуумные печи</i> Индукционная вакуумная для плавки стали и жаропрочных сплавов периодического действия	ИСВ-0,06ПИ	0,06	155	2400	800	1760	1800	67	2500	500x600	1000	6,5
	ИСВ-0,16ПИ	0,16	157	2400	800	4400	1700	107	2170	500x600	1000	7,75
	ИСВ-0,16НИ	0,16	435	2400	800	4400	1650	200	2100	2000x1200	1200	49,3
	ИСВ-1,0НИ	1,0	1000	1000	1000	8600	1650	445	2000	200x200	2500	152,0
	ИСВ-2,5НИ	2,5	1500	1000	1000	20000	1800	750	2000	700x900	1800	42,7
Индукционная вакуумная для плавки стали полунепрерывного действия	ИАВ-0,06ПИ	0,06	50	2400	475	-	800	10	-	500x500	800	18,27
	ИАПВ-0,25ПИ	0,25	500	1000	2000	-	2000	125	-	Кокиль 240x1200	1300	42,7
Индукционная вакуумная для плавки меди и ее сплавов	ИМВ-0,16ПИ	0,16	162	2400	445	-	1300	64	-	∅300	800	7,28

# Характеристики Канальных ИП

Технические характеристики индукционных канальных печей

Характеристики	Тип электропечей								
	ИЛК-0,75	ИЛК-1	ИЛК-1,6	ИЛК-2,5	ИЛК-6	ИАК-0,4	ИАК-6	ИЦК-25	ИЦК-40
Емкость, т - полная, - полезная	1,05 0,75	1,3 1,0	2,5 1,6	5,5 2,5	10,3 6	0,7 0,4	9 6	25 25	40 40
Мощность, кВт	250	250	750	750	316x4	125	1000	540	700
Производительность (ориентировочно), т/сутки	30	21	64	63	80	5	42	130	187
Число индукционных единиц	1	1	1	1	4	1	1	6	6
Число фаз	1	1	3	3	1	1	3	3	3
Коэффициент мощности без компенсации	0,70	0,66	0,66	0,66	0,32	0,4	0,3	0,65	0,63
Масса печи, общая с металлом, т	7,2	7,8	15,5	32	60	6,7	52	55	80

# Характеристики Вакуумных ИП



Для плавки черных и цветных металлов и их сплавов из чистых твердых шихтовых материалов на частоте 1 – 2,5 кГц (вместимость до 10-15 т), рафинирования полупродукта на промышленной частоте (вместимость до 60 т), переплава чистых металлов для фасонного литья (вместимостью до 450 кг).

Установки располагают потенциалом от 3 до 20 кВт. В стандартные промышленные модели такого типа можно загружать от 15 до 40 кг материала в среднем. Но встречаются и агрегаты, позволяющие обслуживать за раз до 100 кг. Наделенная средними характеристиками индукционная плавильная печь способна за одну смену обслуживать до 9000 кг.

Температурный диапазон - от 1800 до 2000 °С.

# Достоинства Тигельных ИП

- Выделение энергии непосредственно в загрузке, без промежуточных нагревательных элементов;
- Интенсивная электродинамическая циркуляция расплава в тигле, обеспечивающая быстрое плавление мелкой шихты и отходов;
- Быстрое выравнивание температуры по объему ванны и отсутствие местных перегревов и гарантирующая получение многокомпонентных сплавов, однородных по химическому составу;
- Возможность создания в печи любой атмосферы (окислительной, восстановительной, нейтральной) при любом давлении (вакуумные или компрессионные печи)
- Высокая производительность, достигаемая благодаря высоким значениям удельной мощности (особенно на средних частотах).
- Возможность полного слива металла из тигля
- Относительно малая масса футеровки печи, что создает условия для снижения тепловой инерции печи благодаря уменьшению тепла, аккумулированного футеровкой;
- Печи этого типа весьма удобны для периодической работы с перерывами между плавками и обеспечивают возможность для быстрого перехода с одной марки сплава на другую;
- Простота и удобство обслуживания печи, управления и регулирования процесса плавки, широкие возможности для механизации и автоматизации процесса;
- Высокая гигиеничность процесса плавки;
- Малое загрязнение воздушного бассейна.

# Недостатки Тигельных ИП

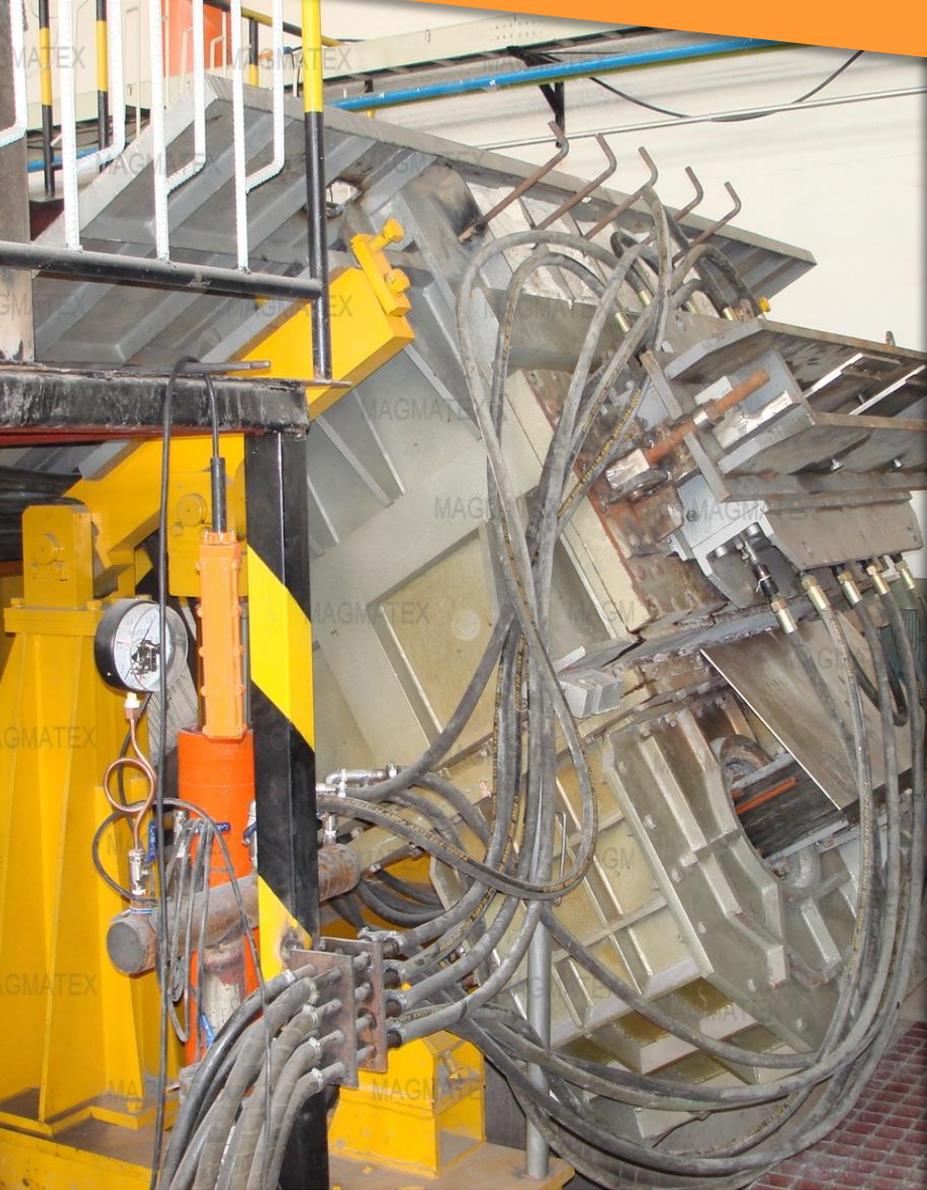
- Относительно низкая температура шлаков, наводимых на зеркало расплава с целью его технологической обработки;
- Холодные шлаки затрудняют протекание реакций между металлом и шлаком и затрудняют процессы рафинирования;
- Сравнительно низкая стойкость футеровки при высоких рабочих температурах расплава и при наличии резких колебаний температуры футеровки при полном сливе металла;
- Высокая стоимость электрооборудования, особенно при частотах выше 50 Гц.
- Более низкий КПД всей установки вследствие необходимости иметь в установке источник получения высокой или повышенной частоты, а также конденсаторов, а также при плавке материалов с малым удельным сопротивлением.

# Достоинства Канальных ИП



- 1** Минимальное окисление и испарение металла, так как нагрев происходит снизу. К наиболее нагретой части расплава, находящейся в каналах, нет доступа воздуха, а поверхность металла в ванне имеет сравнительно низкую температуру.
- 2** Малый расход энергии на расплавление, перегрев и выдержку металла.  
*Канальная печь имеет высокий электрический КПД благодаря использованию замкнутого магнитопровода.  
В то же время высок и тепловой КПД печи, так как основная масса расплава находится в ванне, имеющей толстую теплоизолирующую футеровку.*
- 3** Однородность химического состава металла в ванне благодаря циркуляции расплава, обусловленной электродинамическими и тепловыми усилиями. Циркуляция способствует также ускорению процесса плавки.

# Недостатки Канальных ИП



- 1 Тяжелые условия работы футеровки канала – подового камня. Стойкость этой футеровки снижается
- 2 Необходимость постоянно (даже при длительных перерывах в работе) держать в печи сравнительно большое количество расплавленного металла.
- 3 Невозможен быстрый переход с одной марки выплавляемого сплава на другую. В этом случае приходится проводить ряд балластных переходных плавов. Постепенной загрузкой новой шихты меняют состав сплава от исходного до требуемого.
- 4 Шлак на поверхности ванны имеет низкую температуру. Это затрудняет проведение нужных металлургических операций между металлом и шлаком. По этой же причине, а также ввиду малой циркуляции расплава вблизи

# Достоинства и недостатки Вакуумных ИП



## Достоинства:

- ❶ По сравнению с обычными печами для термообработки вакуум позволяет осуществлять высокоэффективное тепловое воздействие на заготовки
- ❷ У оператора есть возможность гибкой регулировки параметров нагрева, которую, например, предусматривает вакуумная индукционная печь с тиглем. К достоинствам таких конструкций относят и возможность получения относительно чистого металлического материала.

## Недостатки:

- ❶ Жесткие условия, которые требуются для обеспечения производительной термообработки и которые влияют на структуру рабочих поверхностей.
- ❷ Стоимость в среднем составляет 500-700 тыс. руб.

# Данные ИП типа ИСТ 0,4/0,32

Номинальная  
ёмкость, т  
стали

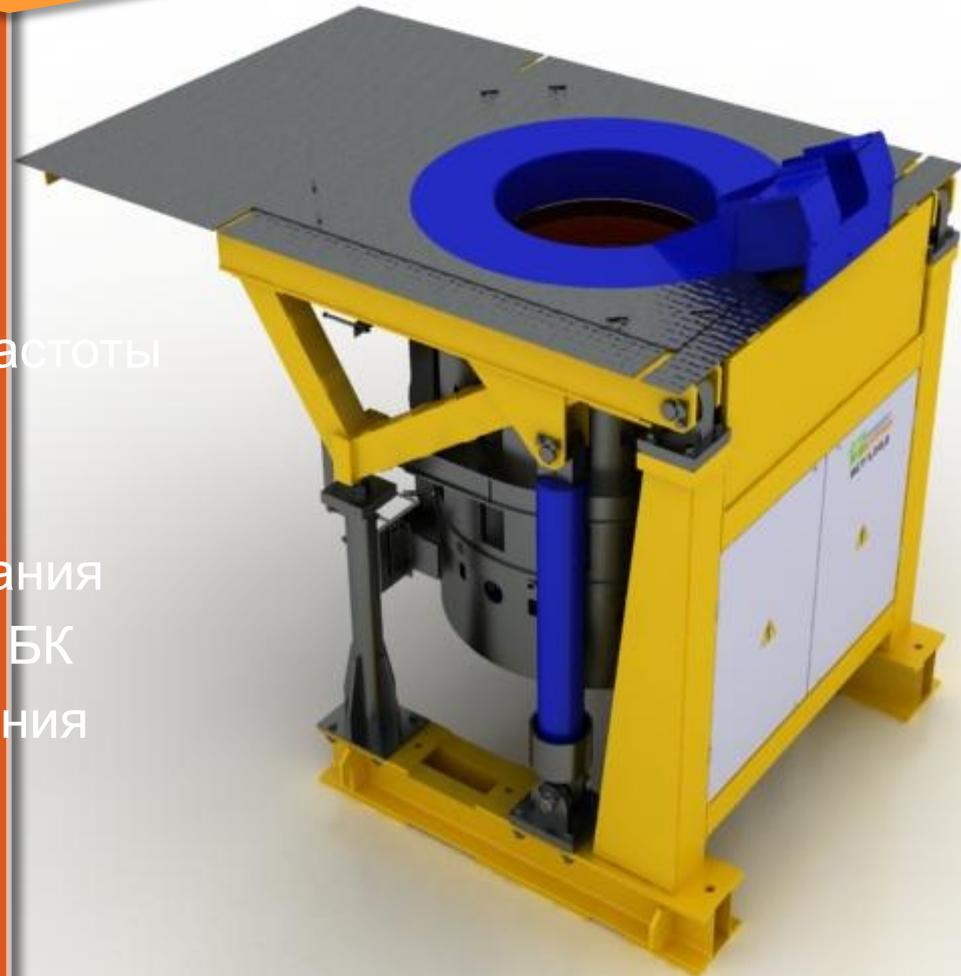
Мощность  
преобразовательного  
трансформатора,  
кВА



	Число фаз	f, Гц	Uном, В	Iном, А
Питающая сеть	3	50	380	-
Контурная цепь	1	800-1000	700	3000

# Состав установки ИП типа ИСТ 0,4/0,32

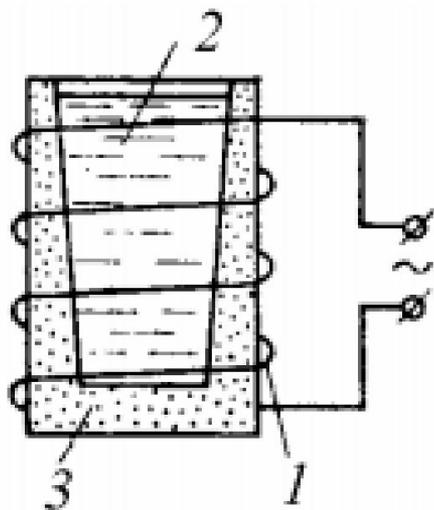
- Каркас
- Индуктор
- Энергопровод
- Узел контроля водоохлаждения
- Защита печного агрегата
- Тиристорный преобразователь частоты
- БК и шинопроводы
- Гидропровод
- Пульт дистанционного обслуживания
- Переключающее устройство для БК
- Система обратного водоснабжения



# Индукционная печь как потребитель электроэнергии

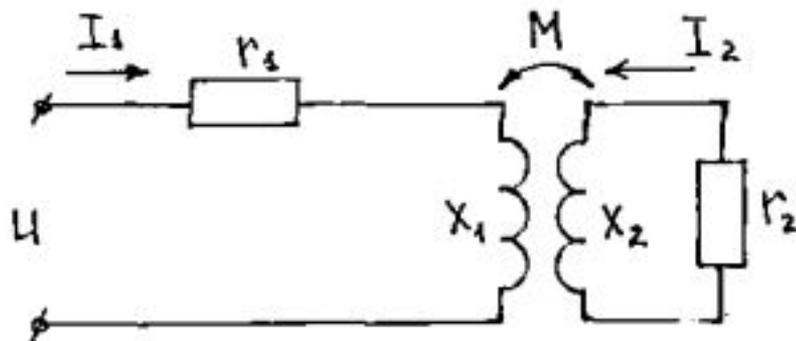
## Тигельная печь

В тигельной печи первичной обмоткой служит индуктор, обтекаемый переменным током, а вторичной обмоткой и одновременно нагрузкой – сам расплавляемый металл, загруженный в тигель и помещенный внутрь индуктора.



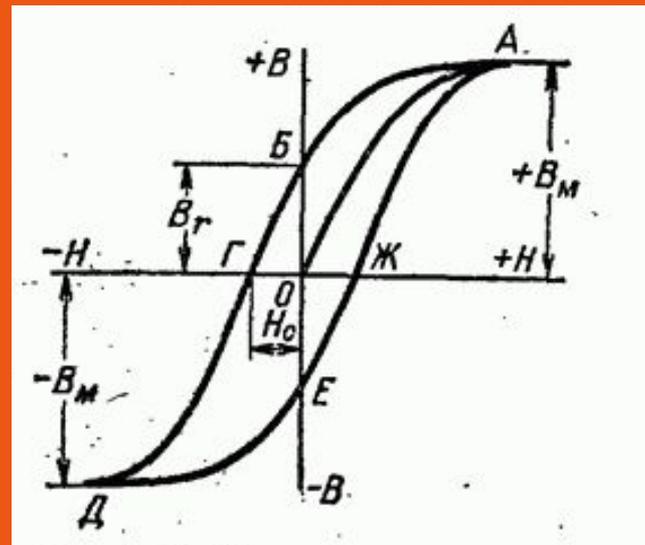
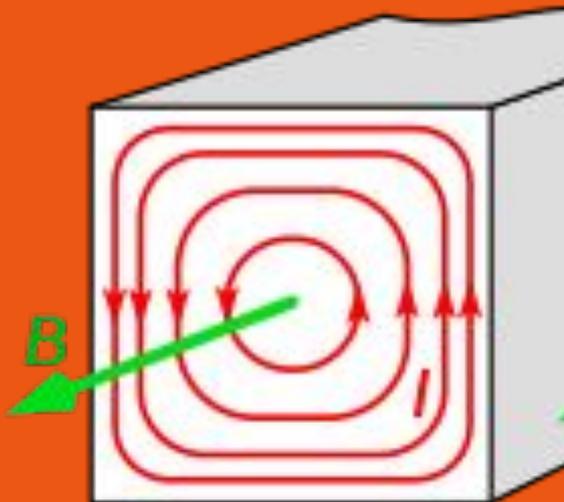
Индукционная плавка металлов в тигельной печи:

1 – индуктор; 2 – расплав;  
3 – огнеупорный тигель



# КПД тигельной печи

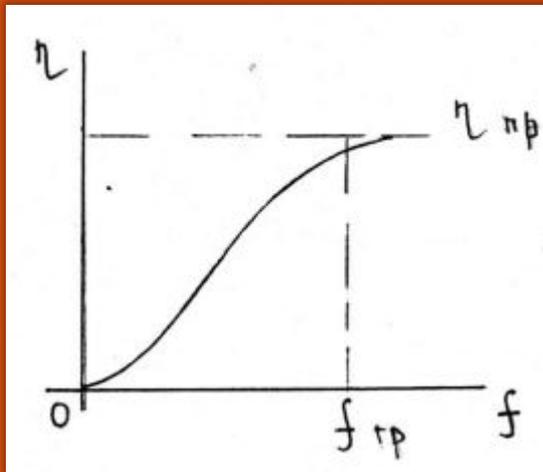
## Ферромагнитные металлы



# КПД тигельной печи

Мощность, а следовательно, и тепло, выделяемое вихревыми токами, которые наводятся и циркулируют в металле, зависят от частоты переменного магнитного поля.

$f=50$  Гц  $\longrightarrow$   $7-10$  Вт/см<sup>2</sup>



Обычно стараются обеспечить КПД на уровне близком к предельному  $\eta=0,9\eta_{пред}$ .

**Мощность** печей от 0,18 до 20 МВА. Для печей мощностью до 2,5 МВА используются *одно и трехфазные трансформаторы*, для печей свыше 4 МВА – *только трехфазные*.

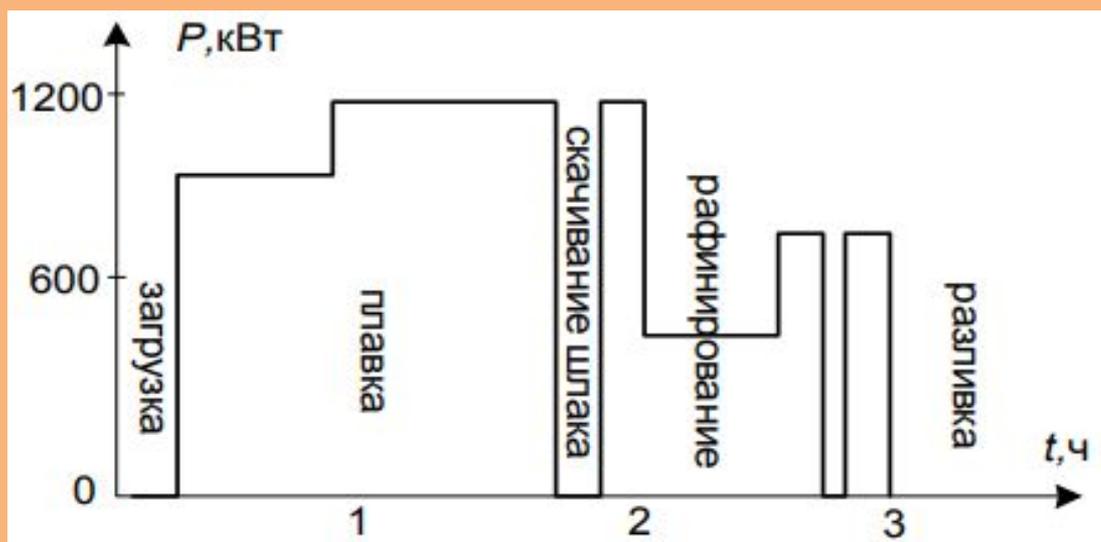
Питание печей в основном производится от сети **напряжением 10 кВ**.

Естественный **коэффициент мощности** не превышает  $0,1 \div 0,4$ , после компенсации  $0,98 \div 1$ .

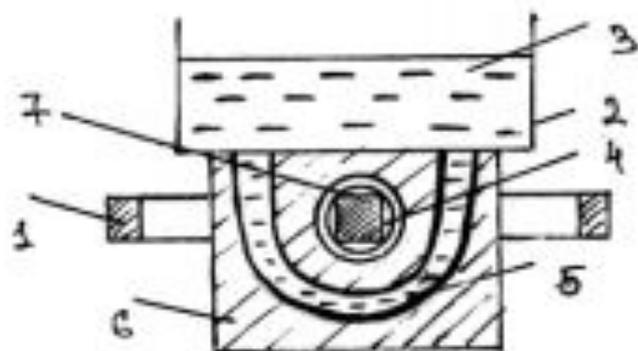
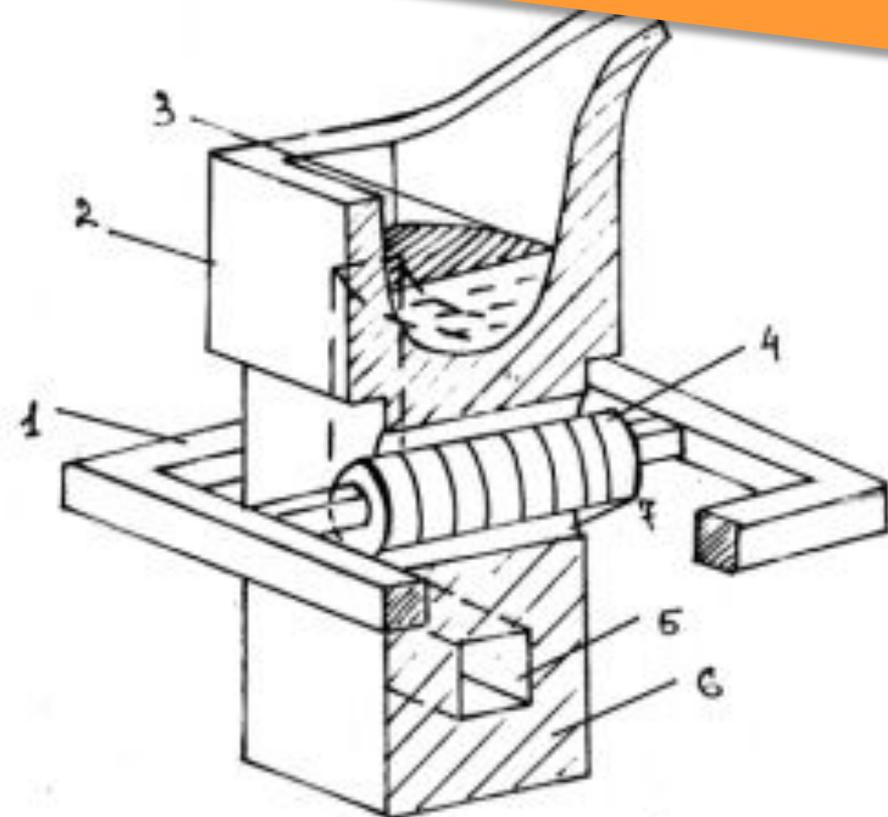
**Режим работы печей** – продолжительный, а электрическая нагрузка – непрерывно-циклическая, переменная.

По **надежности** электроснабжения ИТП относятся к потребителям 2 категории.

Для питания индукционной печи напряжением повышенной частоты используется тиристорный преобразователь.



# Канальная печь



1- стальной магнитопровод

2-футерованная ванна

3-расплавляемый металл

4-индуктор

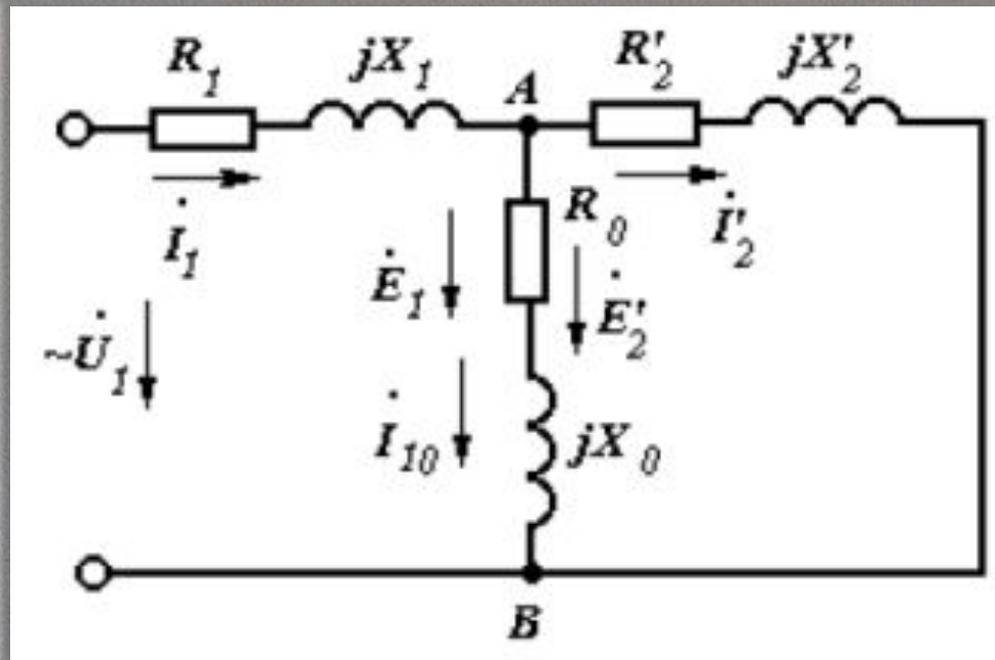
5-канал

6-подовый камень

7-цилиндрический проём

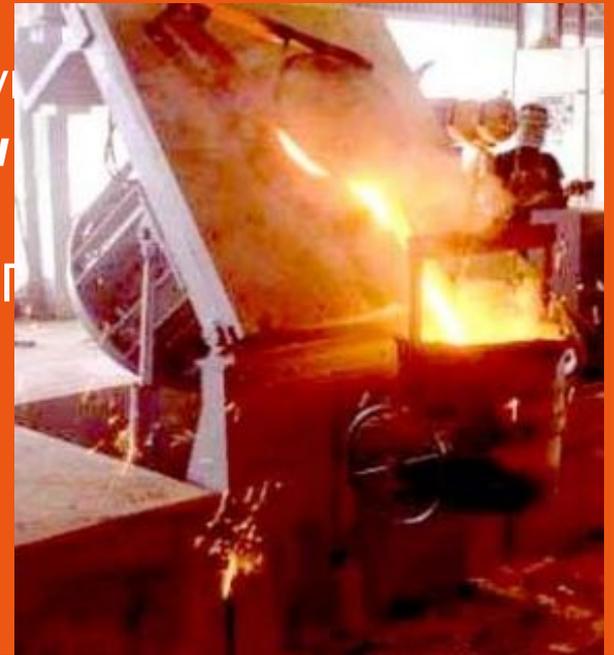
# Канальная печь

По принципу действия ИКП является трансформатором со стальным магнитопроводом 1. Первичной обмоткой служит индуктор 4, который питается током с частотой 50 Гц, а вторичная обмотка – это один виток из расплавленного металла, находящегося в ванне (2) и канале (5).

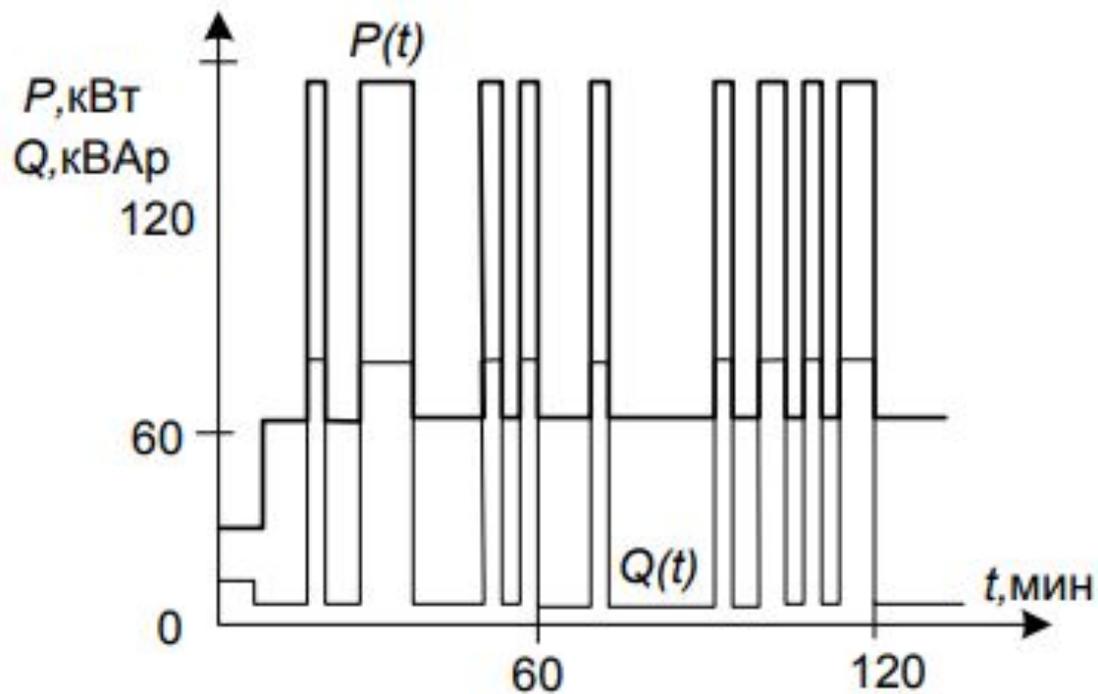


# Канальная печь

- **Мощность ИКП** изменяется от 60 до 6000 кВт.
- Маломощные печи питаются от цеховой распределительной сети напряжением 0,4 кВ. Печи большой мощности подключаются к сети 10 кВ.
- Существуют *однофазные, двухфазные и трехфазные* установки.
- **КПД и коэффициент мощности** заметно ниже, чем у обычного трансформатора.
- В зависимости от выплавляемого продукта естественный **коэффициент мощности** составляет 0,2÷0,7.
- По **надежности** электроснабжения ИТП относятся к потребителям 2 категории.



**Режим работы печей** – продолжительный. График электрической нагрузки определяется суточной программой выпуска продукции.



# Требования к питающей сети

- Изменение питающего напряжения несет огромное число изменений в режим работы электроустановок, которые в свою очередь наносят ущерб всему технологическому процессу в целом.
- ИКП могут эксплуатироваться лишь в непрерывном или полунепрерывном режимах и не приспособлены для смены выплавляемого металла, т.е. являются специальными.

- ***Источниками колебаний напряжения*** являются мощные электроприёмники с импульсным, резкопеременным характером потребления активной и реактивной мощности.
- ***Источниками несинусоидальности*** напряжения являются тиристорные преобразователи в индукционных печах.
- ***Несимметрия напряжений*** проявляется из-за однофазных или двухфазных электротермических установок.
- Низкий естественный ***коэффициент мощности***