

1

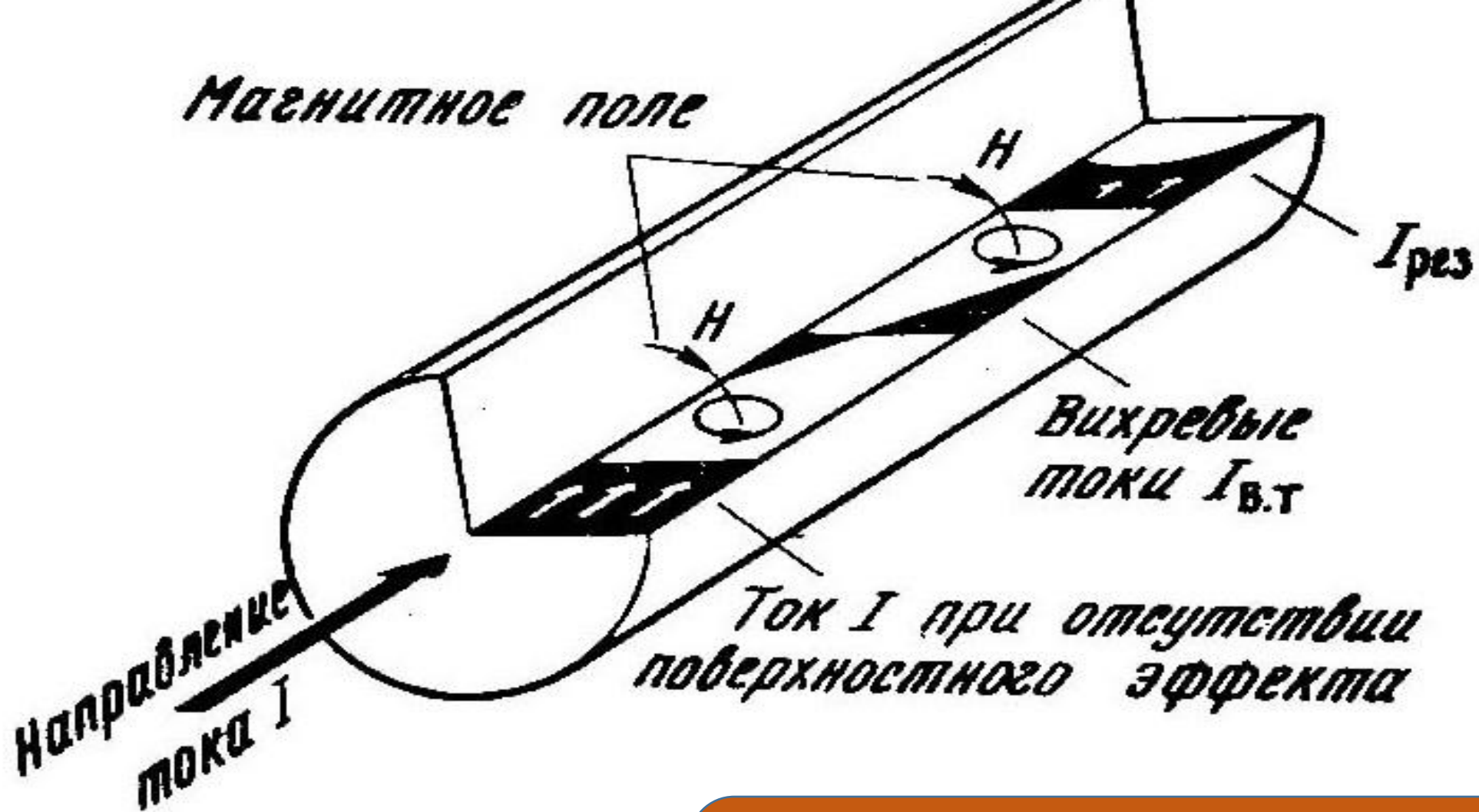


Металлы в электромагнитных полях  
высокой частоты. Индукционный  
нагрев

2



Индукционный нагрев  
металла



Поверхностный  
эффект

Частота, Гц	Алюминий, мкм	Медь, мкм	Мю-металл, мкм	Сталь, мкм	Цинк, мкм
50	11 700	9 330	248	1 200	17 400
100	8 270	6 600	175	851	12 300
$10^3$	2 620	2 090	55,4	269	3 900
$10^4$	827	660	17,5	85,1	1 230
$10^5$	262	209	5,54	26,9	390
$10^6$	82,7	66,0	1,75	8,51	123
$10^7$	26,2	20,9	0,554	2,69	39,0
$10^8$	8,27	6,60	0,175	0,851	12,3
$10^9$	2,62	2,09	0,0554	0,269	3,90
$10^{10}$	0,827	0,660	0,0175	0,0851	1,23

Толщина скин-слоя  
различных  
материалов

5



Индуктор

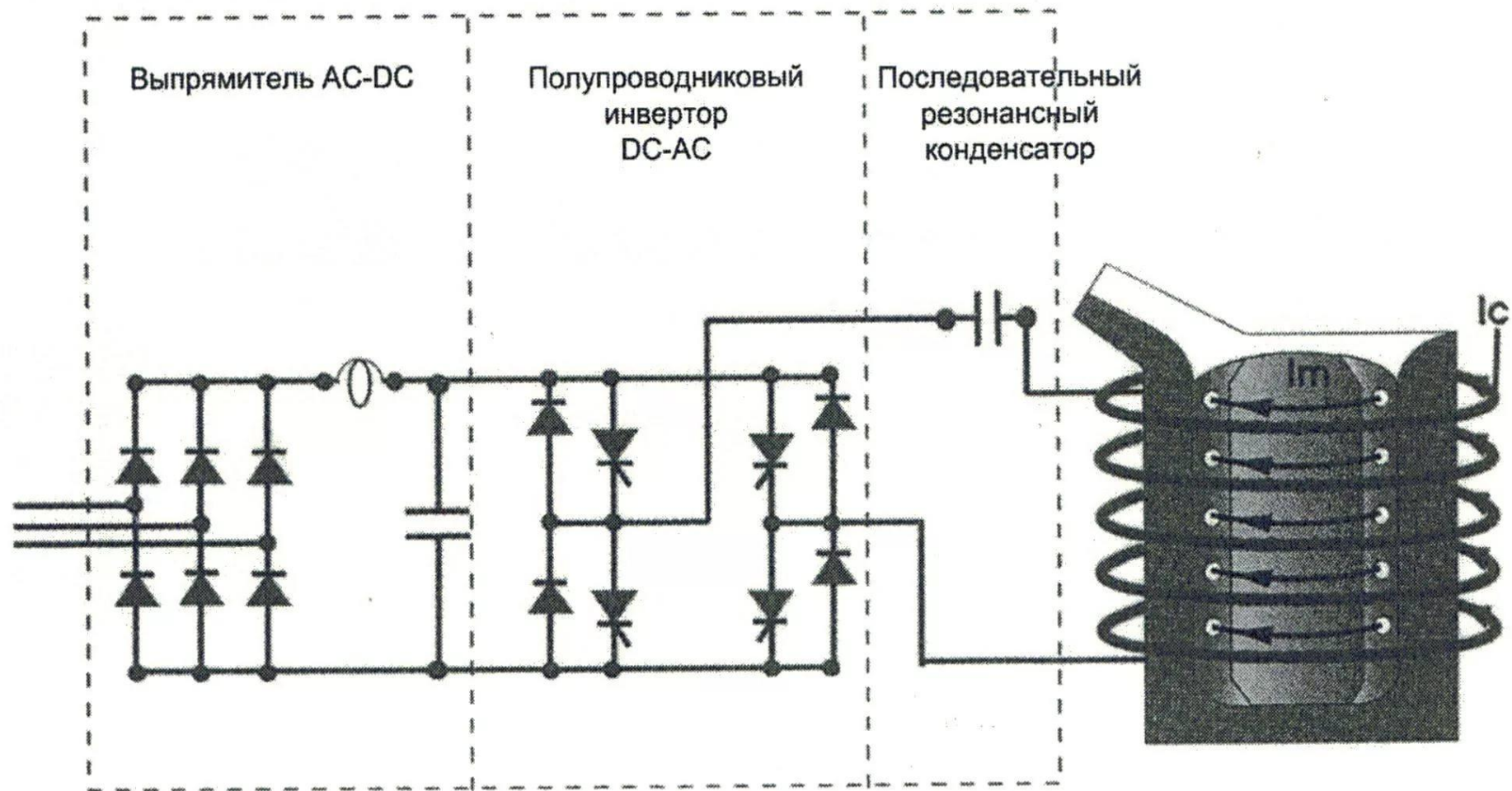


Схема индукционной печи

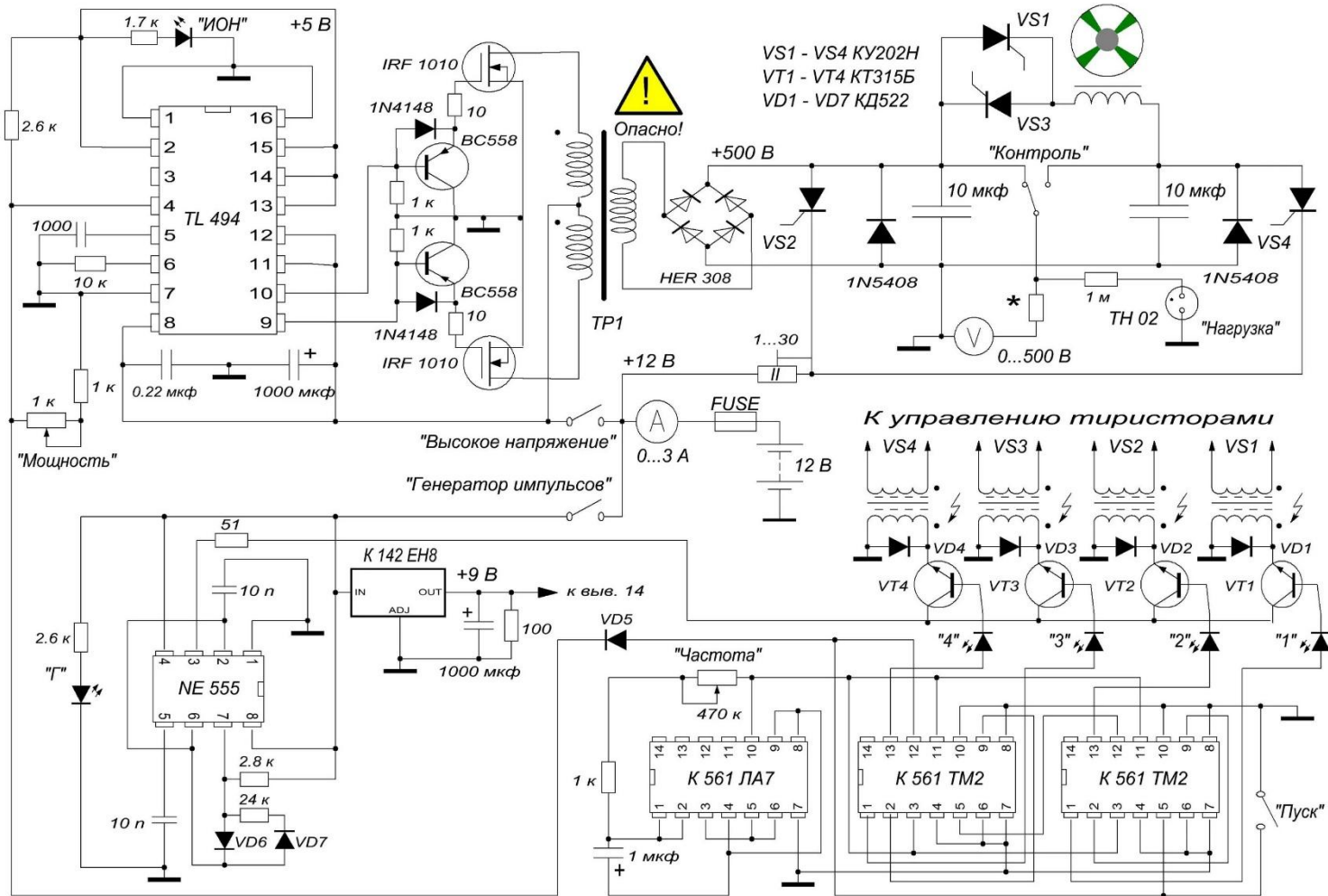


Мосфет транзистор  
IRF3205

A photograph showing a large, glowing orange-red cylindrical object being heated in an industrial setting. The object is positioned on a metal structure with several red knobs. In the background, a bright, glowing circular opening is visible, likely a furnace or a heating chamber. The overall scene is illuminated with a warm, orange-red light, suggesting high temperatures.

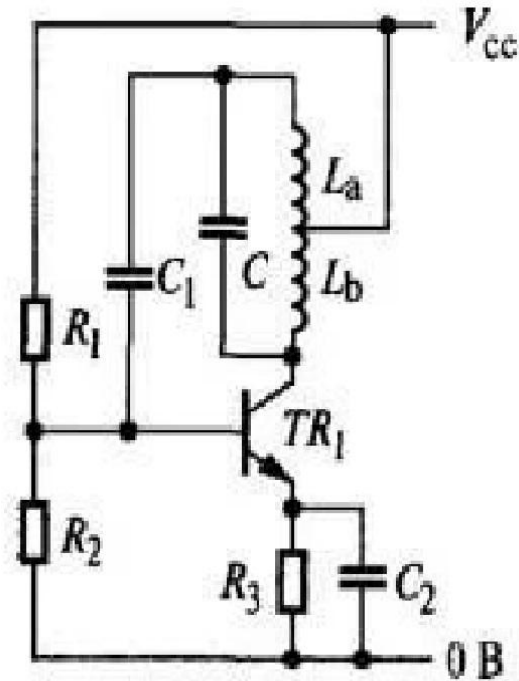
Индукционный нагрев  
в промышленности





Эффективный источник питания индуктивной нагрузки

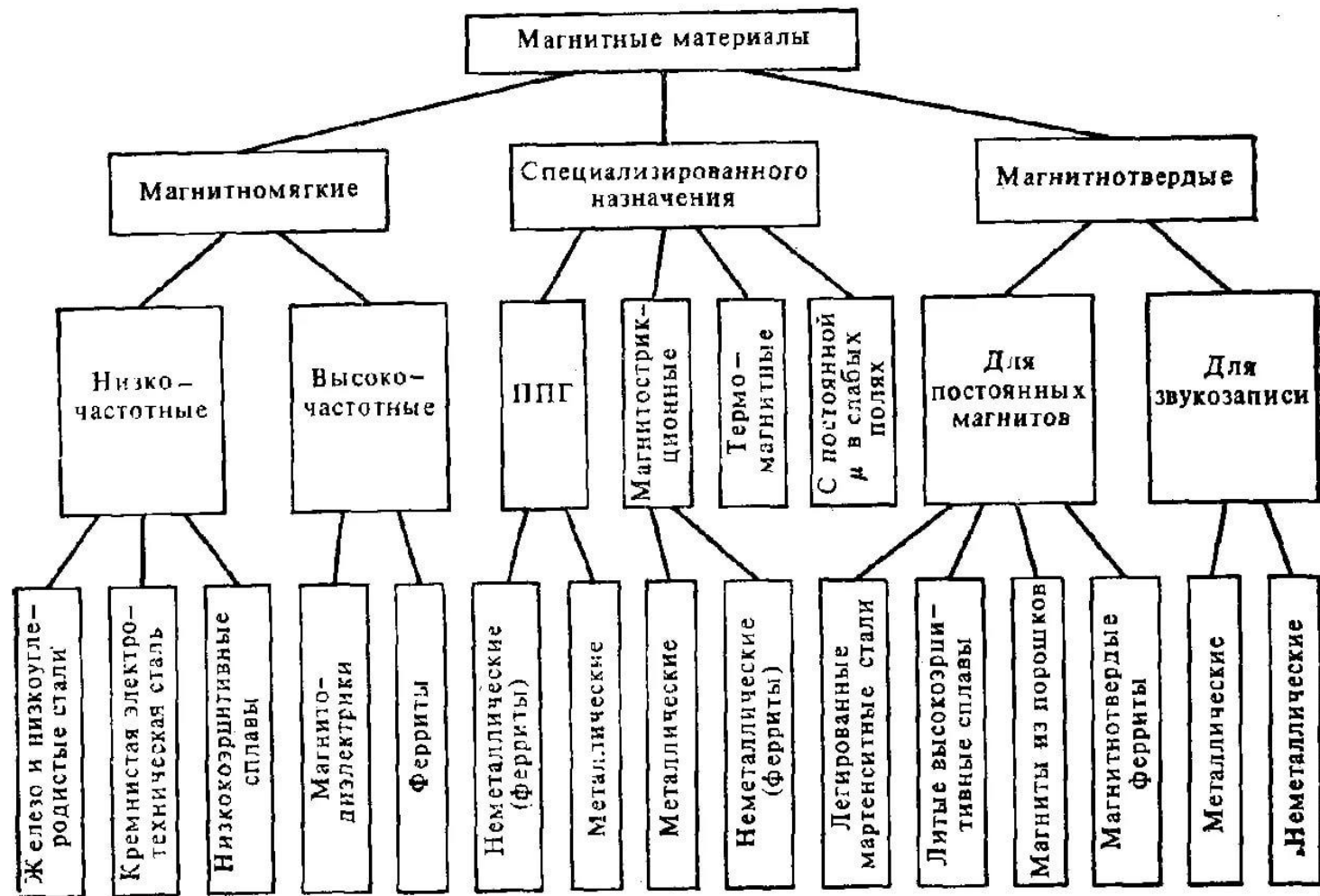
В генераторе Хартли (называемом также трехточечным генератором с индуктивной связью) используются катушки индуктивности с отводом в средней точке. Типичная схема генератора представлена на рисунке



Резонансный контур состоит из конденсатора  $C$  и двух секций катушки индуктивности,  $L_a$  и  $L_b$ . Конденсатор  $C_1$  выполняет роль разделительного конденсатора.

# Генератор Хартли

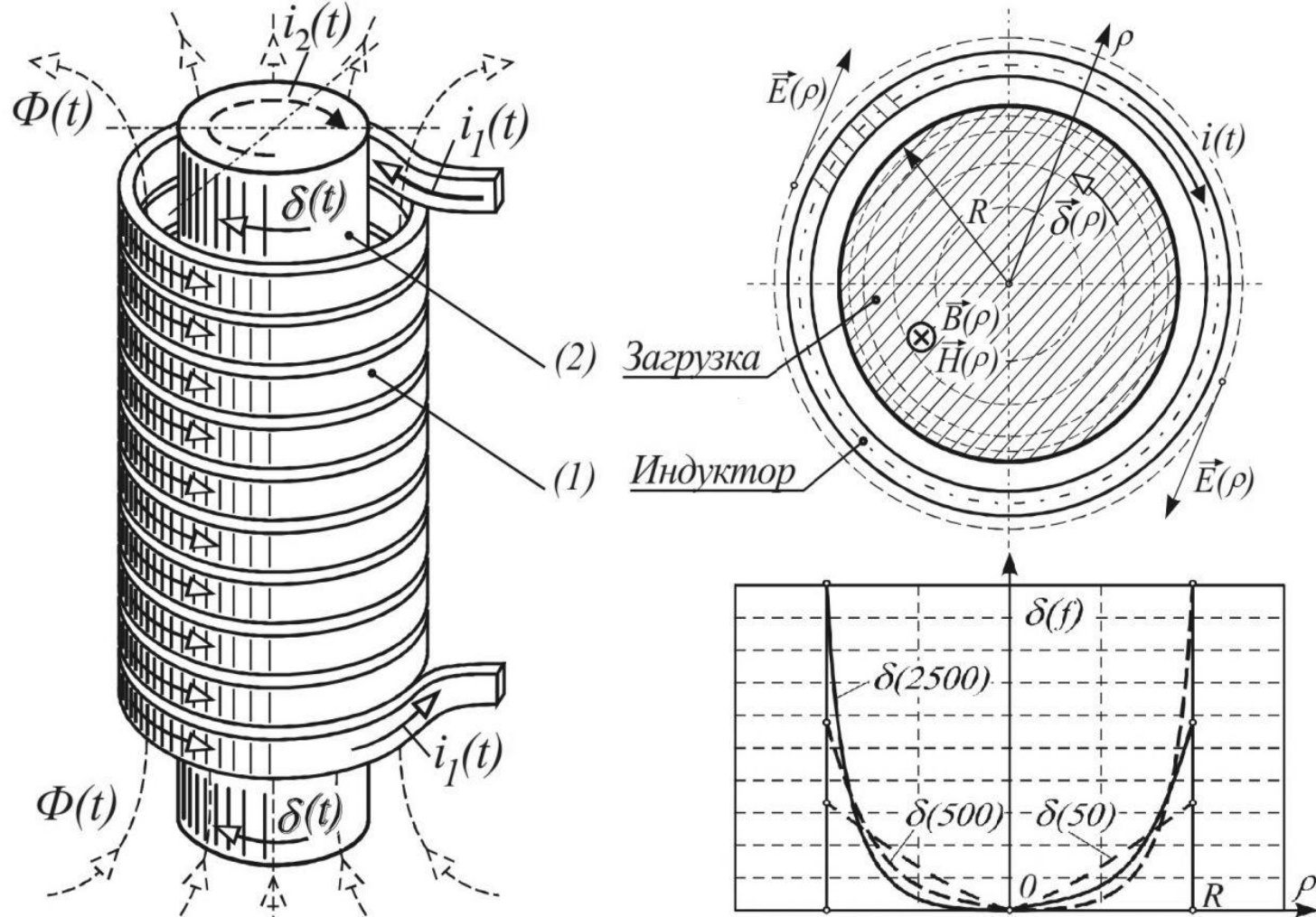




Магнитные материалы




# Индукционная плавка в печах ИАТ



Индукционная  
установка сквозного  
нагрева

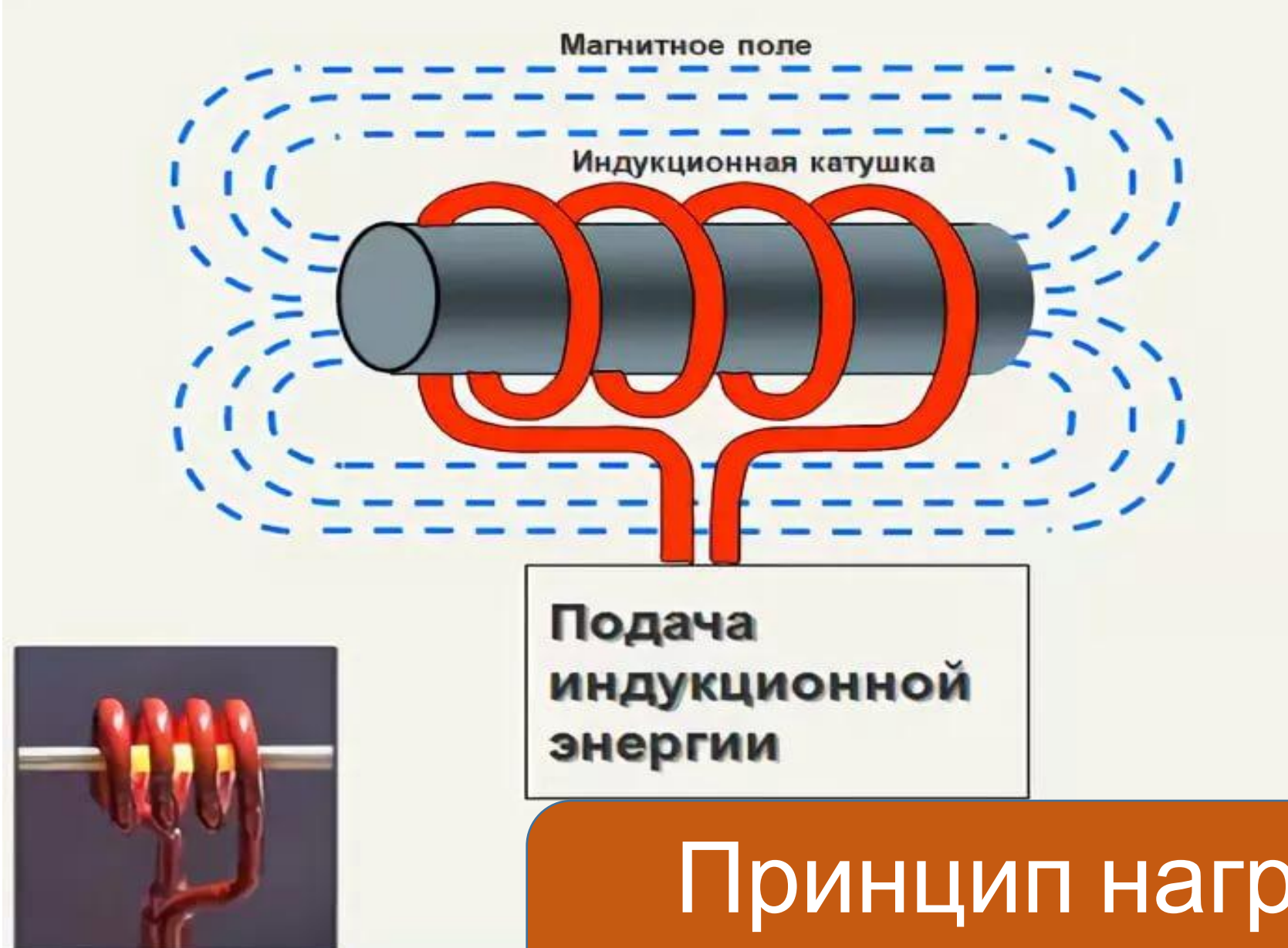
Материал	Температура нагрева, °С	КПД
Сталь углеродистая	1250	0,65
Сталь углеродистая	700	0,80
Сталь нержавеющая	1250	0,60
Латунь	800	0,50
Медь	900	0,40
Алюминий	500	0,40

Зависимости КПД индуктора  
от рода нагреваемого  
материала

A close-up photograph of an industrial induction quenching process. A large, dark metal workpiece is being heated by a glowing orange-red induction coil. The workpiece is mounted on a central shaft and is surrounded by a dark, liquid quenching medium. The background is dark and industrial.

Индукционная  
закалка металла






## Высоко-частотные индукционные установки

Модель	Макс. Мощность, кВт	Частота тока, кГц	КПД	Использование при КПД=95%	Сила тока, А	Давление воды МПа	Поток воды л/мин	Защищаемый контур охлаждения, °С	Габариты
GP-16E	≥16	10-40	95%	100%	5-100	0.1-0.3	>18	55	420x180x360
GP-20E	≥20	10-40	95%	100%	5-100	0.1-0.3	>18	55	420x180x360
GP-28E	≥30	10-40	95%	100%	5-100	0.1-0.3	>18	55	365x465x790
GP-40E	≥40	10-40	95%	100%	25-140	0.1-0.3	>16	55	405x505x810
GP-60E	≥60	15-50	95%	100%	20-190	0.3-0.8	>28	55	700x550x880
GP-80E	≥80	15-50	95%	100%	5-250	0.3-0.8	>28	55	750x500x930

## Низко- и среднечастотные индукционные установки

Модель	Макс. Мощность, кВт	Частота тока, кГц	КПД	Использование при КПД=95%	Рабочее давление, кН	Рабочая температура, °С	Точность измерения температуры, °С	Рабочий ход цилиндра, мм	Давление масла в гидросистеме
ZP-100E	≥100	0.5-2.5	95%	100%	250-400	400-1200	± 2	150	12,5 МПа
ZP-120E	≥120	0.5-2.5	95%	100%	250-400	400-1200	± 2	150	12,5 МПа
ZP-160E	≥160	0.5-2.5	95%	100%	250-400	400-1200	± 2	150	12,5 МПа

# Индукционные установки

A photograph of an industrial induction melting furnace. A large, circular, orange-red glowing chamber is tilted, pouring bright yellow-orange molten metal into a lower container. The scene is dimly lit, with the primary light source being the intense heat of the metal. Sparks are visible as the metal is poured. The background shows dark industrial structures.

Индукционная  
плавильная печь

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

Технические  
характеристики  
индукционных канальных

Металл или сплав	Температура °С		Плотность т/м <sup>3</sup>		Удельная теплоемкость в жидком состоянии, ккал/(кг·град)			Скрытая теплота плавления, ккал/кг
	плавления	перегрева перед разливкой	при 20 °С	в жидком состоянии	при температуре плавления	при температуре перегрева	при температуре °С	
Медь (100% Си)	1083	1225	8,89	8,30	0,1300	0,1335	0,104 +0,000024t	42,5
Томпак (90% Си, 10 % Zn)	1045	1225	8,80	8,20	0,1139	0,1174	0,0935 +0,0000195t	41,0
Полутомпак (80 % Си, 20 % Zn)	1000	1160	8,70	8,10	0,1138	0,1171	0,0933 +0,0000205t	39,0
Латунь (39,5 ÷ 36,6 % Zn , остальное Си)	905	1070	8,50	7,80	0,1124	0,1162	0,0929 +0,0000216t	35,5
Латунь (30 ÷ 33 % Zn , остальное Си)	940	1140	8,60	8,00	0,1132	0,1175	0,0929 +0,0000217t	-
Бронза марганцовистая (58 % Си, 40 % Zn, 2 % Sn)	920	1070	8,50	7,80	0,1130	0,1164	0,0924 +0,0000224t	34,5
Бронза фосфористая (93 % Си, 3 % Zn, 4 % Sn)	1060	1225	8,60	8,00	0,1137	0,1168	0,0935 +0,000019t	4,0
Алюминий (100 % Al)	658	700	2,4	2,4	0,297	0,300	0,246 +0,000078t	92,4

Характеристики некоторых металлов и сплавов, расплавляемых в индукционных канальных печах

Металл или сплав	Температура, °С		Плотность, т/м <sup>3</sup>		Удельная теплоемкость в жидком состоянии, ккал/(кг·град)			Скрытая теплота плавления, ккал/кг
	плавления	перегрева перед разливкой	при 20°С	в жидком состоянии	при температуре плавления	при температуре перегрева	При температуре °С	
Медь (100 % Си)	1083	1225	8,89	8,30	0,1300	0,1335	0,104 + 0,000024 <i>t</i>	42,5
Томпак (90 % Си, 10 % Zn)	1045	1225	8,80	8,20	0,1139	0,1174	0,0935 + 0,0000195 <i>t</i>	41,0
Полутомпак (80 % Си, 20 % Zn)	1000	1160	8,70	8,10	0,1138	0,1171	0,0933 + 0,0000205 <i>t</i>	39,0
Латунь (39,5 ÷ 36,6 Zn , остальное Си)	905	1070	8,50	7,80	0,1124	0,1162	0,0929 + 0,0000216 <i>t</i>	35,5
Латунь (30 ÷ 33 Zn, остальное Си)	940	1140	8,60	8,00	0,1132	0,1175	0,0929 + 0,0000217 <i>t</i>	-
Бронза марганцовистая (58 % Си, 40 % Zn, 2 % Sn)	920	1070	7,80	7,80	0,1130	0,1164	0,0924 + 0,0000224 <i>t</i>	34,5
Бронза фосфористая (93 % Си, 3 % Zn, 4 % Sn)	1060	1225	8,00	8,00	0,1137	0,1168	0,0935 + 0,000019 <i>t</i>	4,0
Алюминий (100 % Al)	658	700	2,4	2,4	0,297	0,300	0,246 + 0,000078 <i>t</i>	92,4
Дюралюминий (94,4% Al, 4,6% Си, 0,5% Mg, 0,5% Mn)	658	700	2,8	2,5	0,297	0,3	0,246 + 0,000078 <i>t</i>	97
Сталь (0,3% С, остальное Fe)	1520	1650	7,8	7,2	0,168	0,2	-	44
Чугун	1200	1350	-	-	0,161	0,23	-	55

Характеристики некоторых металлов и сплавов, расплавляемых в индукционных тигельных печах

23

Гудбай