

## ЭТУ.

### 1. Классификация электротехнических установок.

1. Электрические печи сопротивления (электрическая энергия превращается в тепловую при протекании тока через твердые или жидкие тела, нагрев сопротивлением.) Применяется: нагрев металла под термообработку, плавка металла, сушка, нагрев в вакууме.

2. Электрические дуговые и плазменные дуговые установки (электрическая энергия превращается в тепло в дуговом разряде в газообразной среде или парах металла, нагрев электрической дугой). Применяется для плавки металла; вакуумная, дуговая и плазменная плавка и получения качественных отливок.

3. Рудно-термические и электрошлаковые печи (электр. энергия превращается в тепловую в дуговом разряде и при протекании токов в твердых и жидких телах, нагрев дугой и сопротивлением). Применяется для получения ферросплавов, карбида кальция, чугуна, фосфора и ряда других цветных металлов.

4. Индукционные плавильные печи, индукционные нагревательные установки, установки поверхностной закалки, магнитодинамические установки (электрическая энергия превращается в энергию переменного магнитного поля, а затем в тепловую помещенных в это поле тел, нагрев в переменном магнитном поле). Применяется для плавки металла, нагрев металла, поверхностная закалка, зонная плавка.

5. Установки диэлектрического нагрева (электрическая энергия превращается в энергию переменного электрического поля, затем в тепловую помещенных в это поле тел, нагрев в переменном эл. поле). Применяется для нагрева диэлектриков и пластмасс под полимеризацию, сушка материала, стерилизация продуктов, приготвление пищи.

6. Электронные плавильные и нагревательные установки, установки для зонной плавки (энергия электронного пучка превращается в тепловую в телах, бомбардируемые электронными пучками, нагрев электронным пучком). Применяется плавка в вакууме, высокореакционных цветных и черных металлов.

### 2. Показатели работы по ЭТУ

Основными показателями являются: Коэффициент загрузки, продолжительность включения (ПВ), коэффициент включения, коэффициент использования, коэффициент спроса.

1) коэффициенты загрузки зависят от режимов расхода ЭТУ, характеризуется значением тока (средней)  $K_z = I_{cp}/I_{насп.}$ . Для установок работающих длительно  $K_z=0.9$ ; кратковременных  $K_z=0.75$ .

2) показатель продолжительности включения определяется соотношением рабочего времени к времени цикла:  $PВ = \tau_{р}/\tau_{ц}$

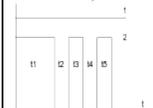
3) коэффициент включения характеризуется отношением времени включения к времени цикла  $K_{в} = \tau_{вкл}/\tau_{ц}$

4) Коэффициент использования используется отношение сред. Потреб. Мощность к номинальной  $K_{и} = P_{ср}/P_{ном}$

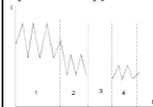
5) Коэффициент спроса используется отношение расч. Мощности к номинальной  $K_{с} = P_{расч}/P_{ном}$

### 3. Индивидуальные графики электрической нагрузки ЭТУ.

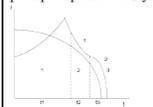
1) печи сопротивления: 1 – непрерывной дуги; 2 – периодической дуги.  $t_1$   $t_3$   $t_5$  режим включения,  $t_2$   $t_4$  режим отключения. Весь период  $\tau_{ц}$ ,  $\tau_{ц} = t_{н} + t_0$  ( $t_{н}$  – нагрев,  $t_0$  – охлаждение).



2) Дуговые печи: 1 – расплав Мет. 2 – окисление, 3 – скачивание шлаков, 4 – восстановление.  $\tau_{ц}$  составляет время от загрузки до восстановления.



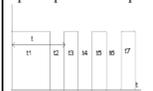
3) Рудно-термические печи. Вакуумные: 1 – вакуум, 2 – рудно-терм.. 1 прогрев электрода, 2 – переплав металла, 3 – выход усадочной раковины. Для рудно-термической печи режим работы спокойный, т.к. дуга закрыта и тепло распространяется дугой и сопротивлением.



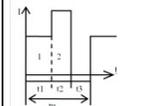
4) Индуктивные печи.  $t_1$  – плавки металла (2-10 часов),  $t_2$  – ожидание загрузки (до 2-х часов)



5) Индуктивные установки:  $t_1$  – время закладки (5-10 сек.)  $t_2$  – 10-40 сек. Сварочные установки. 6) Дуговая сварка:  $t_1$  – время работы сварки (5-40 сек),  $t_2$  – 15-60 сек.



6) Стыковая сварка: выделяют 2 цикла: 1 – нагрев, 2 – оплавление.  $t_1$  – время нагрева (0,5-10 сек),  $t_2$  – до 1 сек,  $t_3$  – (0,1 – 0,5) сек.

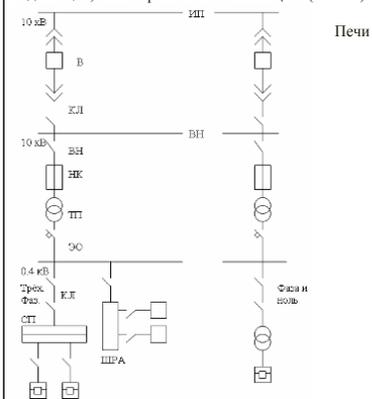


7) Электролизные установки. График аналогичен графику печей сопротивления непрерывного действия.

8) Электрохимические установки. График аналогичен индукционным установкам.

### 4. Схемы электрического снабжения печей сопр-

Усл-я: 1) Работа в длит-ном режиме. 2) явл-ся потребителем 2й категории. 3) потребляет переменный ток 3хфазной сети,  $f = 50$ Гц. 4) в зав-ти от температуры могут быть маломощными и мощными. 5) необходимо знать рас-е ист-ка питания относ-но объекта. Для потребит-ей 2й кат-ии ист-ками питания явл-ся цеховые трансформаторные подстанции (ЦТП), где уст-ся два параллельно работающих трансформатора или 1 трансформатор, но резервированный от др. источника питания. ГПП – главная понизительная подстанция, от которой запитывается ЦТП (кабели).

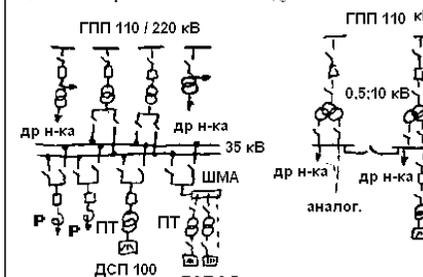


сопротивления косвенного действия питание непосредственно от цеховой сети с напряжением 220, 380 и 660 В или от понижающих электропечных трансформаторов однофазного и трехфазного исполнений (серий ТПО и ТПТ) с широким диапазоном регулирования вторичного напряжения и от автотрансформаторов (серии АПТ). Эти серии разработаны с учетом требований (по значениям вторичного напряжения диапазону регулирования) питания печей с нагревами: из сплавов сопротивления, из чистых тугоплавких металлов и из неметаллических материалов. Электропечные трансформаторы для уменьшения потерь в токопроводах устанавливаются в непосредственной близости к печи. Подвод питания от трансформатора к нагревателям может быть осуществлен кабелем или шиной—в зависимости от конкретной компоновки. Коммутационная аппаратура, аппаратура управления и автоматического регулирования температуры монтируется в щитах управления. Для управления электрическими печами выпускается серия однозонных щитов управления. Каждый щит предназначен для дистанционного управления включением и выключением нагревателей, контроля и регулирования температуры одной тепловой зоны печи. Щиты устанавливаются непосредственно у печей.

При большом количестве печей в цехе устраивают централизованное управление в контрольно-распределительном пункте (КРП), в котором сосредоточивают всю аппаратуру управления и теплового контроля. КРП обслуживается специальным персоналом, обеспечивающим требуемые температурные режимы на всех печах согласно технологическим картам.

Для прецизионных печей сопротивления, работающих с высокой точностью поддержания температурного режима (точность до +/- 0,5 град.С), применяют специальные источники питания, позволяющие осуществлять плавное изменение мощности. К таким источникам питания относятся источники на магнитных усилителях однофазные (РУО) – на мощности от 3,5 до 105 кВт и трехфазные (РУТ) – на мощности от 11,5 до 182 кВт, а также тиристорные источники питания однофазные (РНТТ) – до 590 кВт.

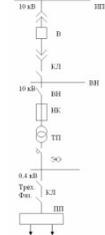
### 5. Схема электрического снабжения дуговых печей



ДСП являются потребителями первой категории, поэтому на ГПП устанавливаются 2 // работающих трансформатора на печную нагрузку, 2 тр-ра на ГПП работающих на другую нагрузку. Печная нагрузка питается от сист. линии 35 кВ. (Двойная система для увеличения надёжности) Мощные печи питаются по радиальной сети (печной тр-р ПТ и печи ДСП-100). Печи небольшой ёмкости запитываются через шинопроводы (ШМА и ШРА). Реакторы в схемах для ограничения токов к.з.

**6-7. Схемы эл. снабжения индукционных установок.**

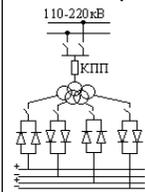
Питание как у печей индукционных. Печи и установки промышленной частоты можно соединить их на силовые пункты, как печи сопротивления, также можно использовать шинопровод. А если частота отличается от 50 Гц, то используют преобразователи. Для высокочастотных ИУ необходимы генераторы в отдельных комнатах и используют радиальную схему.



Печи и установки промышленной частоты можно соединить их на силовые пункты, как печи сопротивления, также можно использовать шинопровод. Они являются потребителями второй категории (должны питаться от трансформаторной подстанции с резервом). Внешняя схема электрического снабжения аналогична печам сопротивления:

При использовании установок и печей, питающихся от преобр-лей используют питание от радиальной сети (Каждая установка питается от ИП).

**8. Схемы электроснабжения электролизных серий.**



Головной выкл-ль защищает тр-р. Особенность КПП – расщепленная обмотка (4). Преобр-ль преобр-ет перемен. I в пост. I.

**9. Энергетический баланс.**

Печь сопротивления  
Общий расход электроэнергии на обработку изделия.

$$W = W_n + W_{\text{ст}} + \Delta W_{\text{ст}} + \Delta W_T$$

$$W_n = \frac{G_{\text{изд}} C_{\text{изд}} (T_{\text{изд}} - T_{\text{изд ст}})}{3600} - \text{расход электроэнергии на нагрев.}$$

Сизд – теплоемкость нагреваемого изделия.  
Токр.стр – температура окружающей среды.  
Сизд – масса изделия.

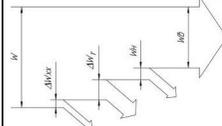
$$W_{\text{ст}} = P_{\text{нагр}} t_{\text{ст}} - \text{расход электроэнергии на выдержку.}$$

tв – время выдержки.  
 $W_{\text{ст}} = P_{\text{нагр}} t_{\text{ст}}$  – общий расход электроэнергии за цикл.

tц – время цикла печи.  
 $\Delta W_{\text{ст}} = P_{\text{нагр}} t_{\text{ст}}$  – потери на холостой ход.

tхх – время холостого хода.  
 $\Delta W_T = C_{\text{ст}} S_{\text{стен}} t_{\text{ст}} + 0,2(W_n + W_{\text{ст}} + \Delta W_{\text{ст}})$  – тепловые потери.

Суд – удельные потери через стенки печи.  
Sнагр – площадь боковых стен печи, на которых расположены нагревательные элементы.



Дуговая печь.  
Общий расход электроэнергии на плавку металла.

$$W_{\Sigma} = W_{\text{нагр}} + \Delta W_{\text{ст}} + \Delta W_T$$

$$W_{\text{нагр}} = W_1 G' - \text{полезная электроэнергия.}$$

G' – емкость печи.  
W1 – расход электроэнергии на нагрев.

$$\Delta W_{\text{ст}} = \Delta W_{\text{ст}} + \Delta W_{\text{ст}} + \Delta W_{\text{ст}} - \text{электрические потери,}$$

ΔWкст – потери в короткой сети.  
Определим.  
ΔWп.тр - потери в печном трансформаторе,  
ΔWэв - потери в электрод ванне.

$$\Delta W_T = C_{\text{ст}} (G')^{0,4} t_{\text{ст}} - \text{тепловые потери энергии.}$$



**10. Удельный расход эл. энергии ЭТУ**

Для печей сопротивления  
H=Wн/G

Удельный расход электроэнергии:  
Где G – загрузка печи (масса загрузки) [кг]  
Wн – энергия цикла.  
Удельный расход электроэнергии – расход электроэнергии за цикл. Цикл – время работы.

Wн = Wн + const  
Wн – эл/эн на нагрев  
Const – величина определяемая конструктивным исполнением установок.

$$W_n = \frac{G C_{\text{изд}} (T_{\text{изд}} - T_{\text{изд ст}})}{684}$$

G – масса изделия  
Сизд уд. Теплоемкость изделия

864 – переводной коэффициент для уд. теплоемкости  
 $W_{\text{ст}} = P_{\text{нагр}} t_{\text{ст}}$

tн – время нагрева  
tц = tхх + tн + tвыд – время цикла. Эл.эн тратится только во время нагрева (tн).

tвыд – время выдержки  
tхх – время холостого хода.

Для дуговых печей

$$H = \frac{W}{n \delta}$$

$$W = W_{\text{нагр}} + \Delta W_{\text{ст}} + \Delta W_T$$

$\Delta W_{\Sigma \text{эл}}$  - полные эл.потери

$\Delta W_m$  - потери в печном трансформаторе  
n – коэф годности выхода металла = 94%  
т.е. 94% металла выплавленного в печи явл годным

$$\delta = G_0 0,9$$

G0 – Загрузка печи  
Для индукционных установок аналогично печам  
Т.е. для любой печи H=W/G

**11. Влияние показателей качества э/э на режим работы печей сопротивления.**

Отклонения напряжения приводят к изменению времени протекания технологического процесса о соответственно к изменению производительности печей, что приводит к изменению расходов ЭЭ. От уровня напряжения зависит также срок службы нагревателей и потери активной мощности.

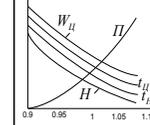
Показателем качества рассчитывается в зависимости от коэффициента напряжения: Ku=0.9-1.1. Время нагрева  $t_n = W_n / (P_{\text{нагр}} K_u \Delta P)$ , (Wн- расход электроэнергии на нагрев, ΔP потери мощности на нагрев)

Удельный расход электрической энергии: H=Wн/G, (G – масса изделия, Wн – расход электроэнергии за цикл).  
Производительность печи:  
Π=G/tц (tц=tв+tхх – время цикла).

$$t_{\text{ст}} = \frac{\delta_0}{v_{\text{ок}}}$$

Время службы нагревательного элемента  
толщина окислительного слоя, vок – скорость окисления нагревательного элемента)

Рассчитывают параметры качества для 5 значений Ku, и строят графики: tн, Wц, Π, H от Ku. Вывод: с увеличением рабочего напряжения все параметры печи сопротивления улучшаются, но нет уверенности что это даст экономии, т.к. не учтен полный технологический процесс. Напряжение при увеличении производительности возможен простой, так же возможен ущерб от перенапряжения.



**12. Влияние показателей качества э/э на режим работы дуговых печей.**

Показателем качества рассчитывается в зависимости от коэффициента напряжения:  $K_u=0.9-1.1$ .

Ток дуги.

$$I_0 = A + Bk_v + Ck_v^2 \quad (A, B \text{ и } C \text{ коэффициенты для расчета тока дуги}).$$

Потери мощности при горении дуги.

$$P_0 = I_0^2 \left( \sqrt{\frac{U_{2ф}^2}{I_0^2} - X_2^2 + R_2} \right) \quad (U_{2ф} \text{ фазное напряжение печи, } X_2 \text{ и } R_2 \text{ суммарные сопротивления})$$

$X_2$  и  $R_2$  суммарные сопротивления

$$t_{пл} = \frac{W_{пл}}{P_{пл}k_1 + \Delta P_{эл}k_1 - \Delta P_{т}k_1} \quad (W_{эл} - \text{общий расход электроэнергии на плавку металла, } k_1 - \text{поправочный коэффициент, } \Delta P_{эл} - \text{электрические потери мощности, } \Delta P_{т} - \text{тепловые потери мощности})$$

Производительность печи  $\Pi_v = \frac{G'}{t_{пл}}$  (пл – время плавки,  $G'$  – емкость печи)  
Удельный расход э/э.

$$H_i = \frac{W_2 k_v}{G n} \quad (n - \text{коэффициент годности выхода металла})$$

Удельный расход э/э.

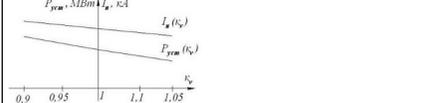


**13. Влияние показателей качества электроэнергии на режим работы индукционных установок печей.**

$$I_n = \frac{P_z}{U_z \cdot \cos \varphi \cdot k_v}$$

Определяем номинальный ток печи: ( $\cos \varphi=0.7$ -для индукционных печей;  $P_z$  и  $U_z$  – мощность и напряжение генератора).

Мощность установки.  $P_{уст} = I_{нл}^2 R_{уст}$  ( $R_{уст}$  - активное сопротивление установки)



Изменение питающего напряжение несет огромное число изменений в режим работы электроустановок, которые в свою очередь наносят ущерб всему технологическому процессу в целом.

**14. Ущерб от неудовлетворительного качества электроэнергии.**

При отклонении показателей качества электроэнергии от норм появляются экономические ущерб, который представляет собой добавочные затраты на выпуск промышленной продукции.

Ущерб складывается из технологической и электромагнитной составляющей:  $Y_2 = Y_1 + Y_3$ . В технологическую составляющую входят: ущерб от изменения производительности, брака продукции и изменения срока службы установок.

К электромагнитным составляющим ущерба относятся: ущерб от изменения потребления активной и реактивной мощности.

Печи сопротивления. Суммарный ущерб для печей сопротивления определяется уравнением.

$$Y_2 = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6.$$

Y1-ущерб от изменения производительности  $Y_1 = \Pi \cdot \Delta \Pi$ ,  $\Pi$  – годовая производительность печи,  $\Delta \Pi$  – себестоимость тонны изделия,  $\Delta \Pi$  – изменение производительности

Y2 - ущерб от брака продукции.

Ущерб от брака продукции  $Y_2=0$  при отклонении напряжения в пределах  $\pm 15\%$

Y3 – ущерб от изменения потребления активной мощности  $Y_3 = P_{ном} \text{Суд} \cdot t_{ц} \cdot k_v^2$

Суд – удельная стоимость электроэнергии.

$t_{ц}$  – годовое число часов работы печи

$k_v$  – отклонение напряжения.

Y4 – ущерб от изменения потерь активной мощности  $Y_4 = \Delta P_{ном} \text{Суд} \cdot t_{ц} \cdot k_v^2$

Y5 – ущерб от изменения потребления реактивной мощности равен 0 т.к. печь сопротивления является потребителем активной мощности

Y6 - ущерб от изменения срока службы нагревателя.

$$Y_6 = \frac{C_{на} t_{цикл}}{t_{ср.м}} \left( \frac{1}{k_v} - 1 \right)$$

$C_{на}$  - стоимость нагревателя,  $t_{цикл}$  - время цикла в год,  $t_{ср.м}$  - время службы нагревателя.

$k_t$  - срок службы нагревательного элемента.

Дуговые электропечи.

Суммарный ущерб для дуговых печей выражается уравнением.

$$Y_2 = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7.$$

Y1-Y6 – аналогично.

Y7 – ущербы связанные с изменением расхода электродов и срока службы понижающего трансформатора печи.

Y1-Y5 определяются аналогично.

$$Y_7 = \frac{C_{эл} (t_{н.м} - t_{п.ф})}{t_{ср.м} S_{ном} t_{ср.ф} G}$$

$C_{эл}$  – стоимость электрода

$t_{ср.м}$  – время службы электрода.

$S_{ном}$  – номинальная мощность трансформатора.

$G$  – емкость печи.

$$Y_7 = \Delta t_{ц} \cdot E_{н} \cdot K_{сз}$$

Электросварочные машины.

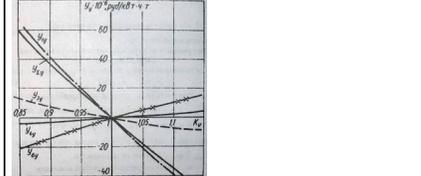
$$Y_2 = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8$$

Y1-Y5 аналогично

Y6 – ущерб от изменения затрат на электроды

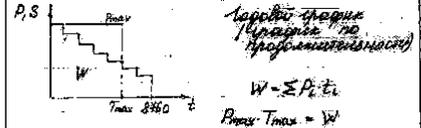
Y7 и Y8 - ущербы от изменения срока службы гибких кабелей на подвесных машинах и сварочного трансформатора.

Зависимости удельных ущербов и суммарного от отклонения напряжения.



**15. Групповые графики электрической нагрузки ЭТУ.**

Это зависимость изменения нагрузки во времени как активной, так и реактивной составляющих. Для таких графиков степень регулярности определяется как типа-ми слагающих индивидуальных графиков, так и величиной потребляемой мощности по минимуму и по максимуму согласно технологического процесса.



В зависимости от технологического процесса ЭТУ графики индивидуальные Эл. нагрузок могут быть жесткими и вероятностными. Если ЭТУ увязаны единым технологическим процессом нагрузок, то графики будут жесткими, если нет, то вероятностными.

Если жесткие графики были периодическими, то и групповой будет периодическим.

Если жесткие графики отдельных ЭТУ рассматривать как самостоятельные, то суммарный не будет периодическим.

W(A)