

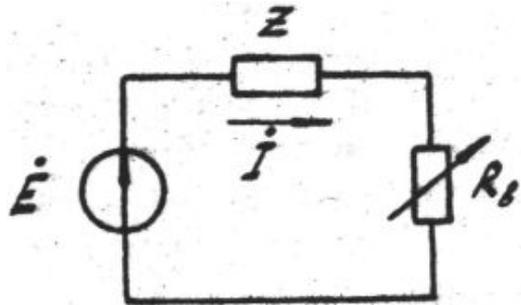
**Регулировочные  
характеристики электродных  
печей переменного тока при  
симметричном управлении**

# Управляющие воздействия по электрическому режиму ДСП

1. Перемещение электродов и изменение при этом длин дуг
2. Переключение ступеней напряжения трансформатора и изменение при этом питающего напряжения

# Расчет электрических характеристик

(Зависимости  $P_A$   $P_{пот}$   $P_D$   $U_D$   $\cos \varphi$   $\eta_{эл}$  от тока печи)



$$z = \sqrt{r^2 + x^2}$$

$$\left. \begin{aligned} U_D &= \sqrt{E^2 - (Ix)^2} - Ir; & P_D &= 3IU_D; & P_a &= 3(P_D + I^2r) \\ \cos \varphi &= \frac{P_a}{S}; & \eta_{эл} &= \frac{P_D}{P_a}; & S &= 3EI. \end{aligned} \right\}$$

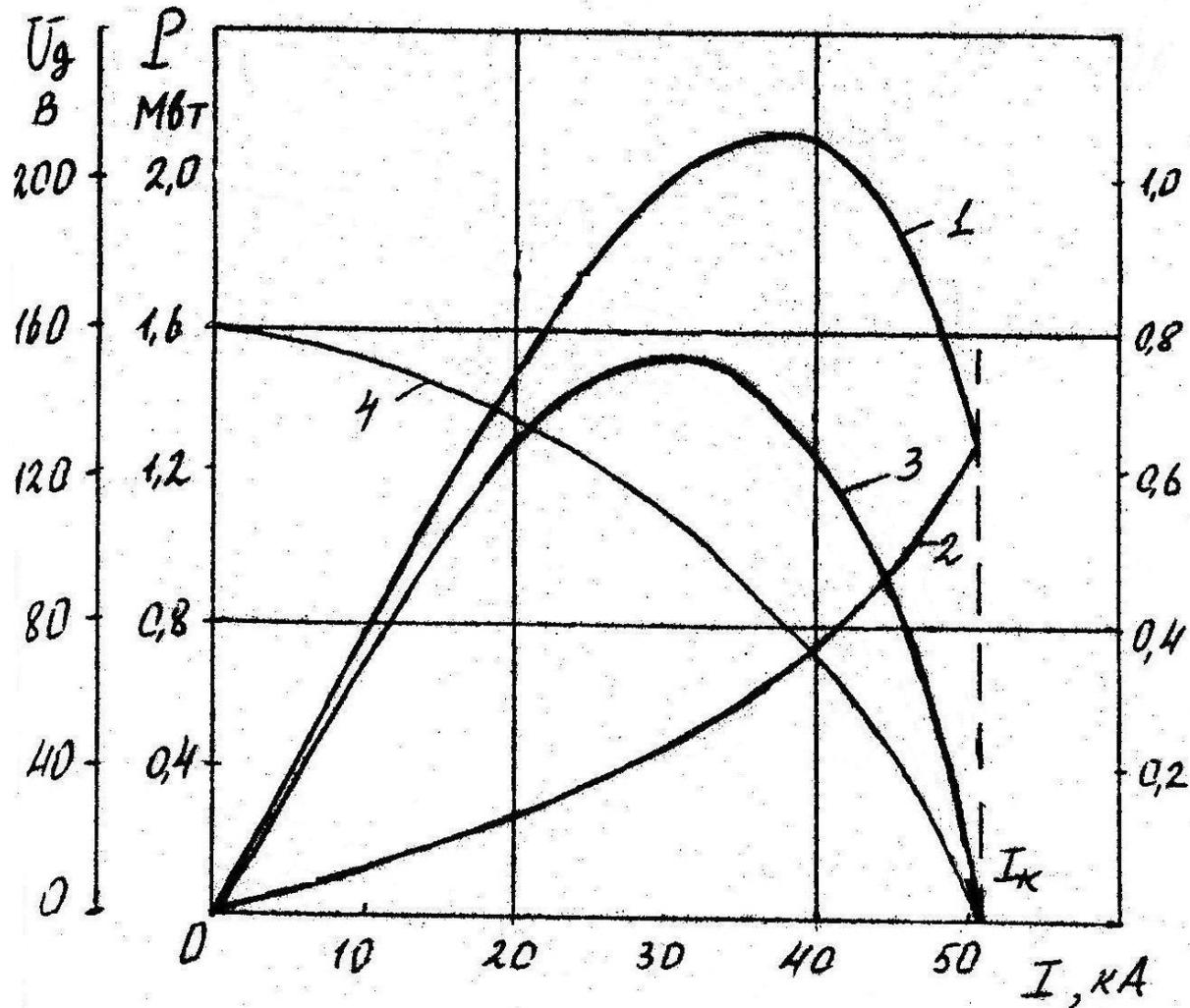
режим КЗ

$$I_k = \frac{E}{\sqrt{r^2 + x^2}} = \frac{E}{z}$$

$$\cos \varphi_{т.п.} = \frac{r}{\sqrt{r^2 + x^2}}$$

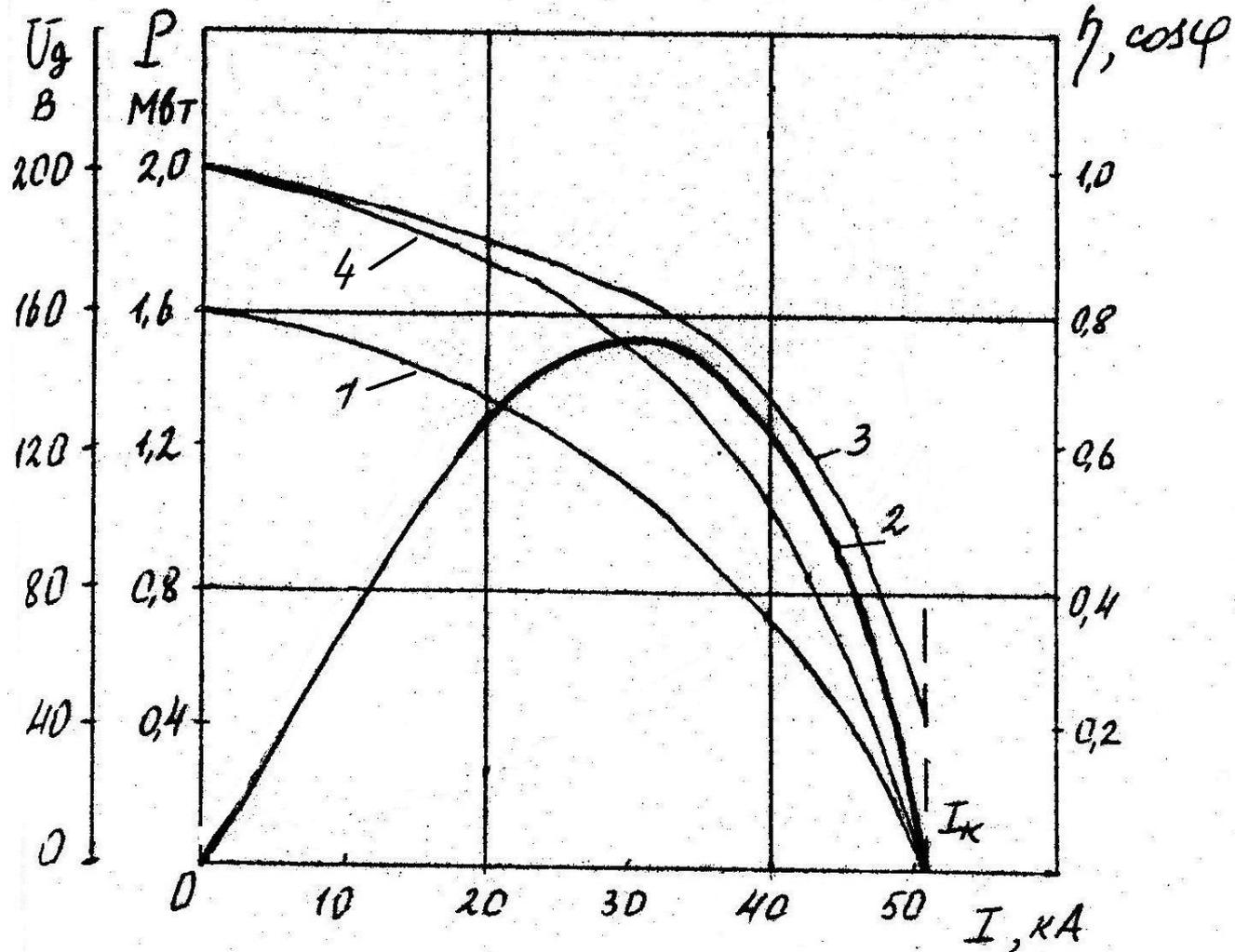
# Электрические характеристики ДСП:

1 -  $P_A$  ; 2 -  $P_{пот}$ ; 3 -  $P_{\partial}$ ; 4 -  $U_{\partial}$



# Электрические характеристики ДСП:

1 –  $U_{\partial}$ ; 2 –  $P_{\partial}$ ; 3 –  $\cos \varphi$ ; 4 –  $\eta_{\text{эл}}$



# В режиме максимума мощности

Условие

$$R_{\text{д}} = z_{\text{к}}$$

$$I' = \frac{E}{\sqrt{2z(z+r)}} \quad P_{\text{д.макс}} = \frac{3E^2}{2(r+z)} \quad z = \sqrt{r^2 + x^2}$$

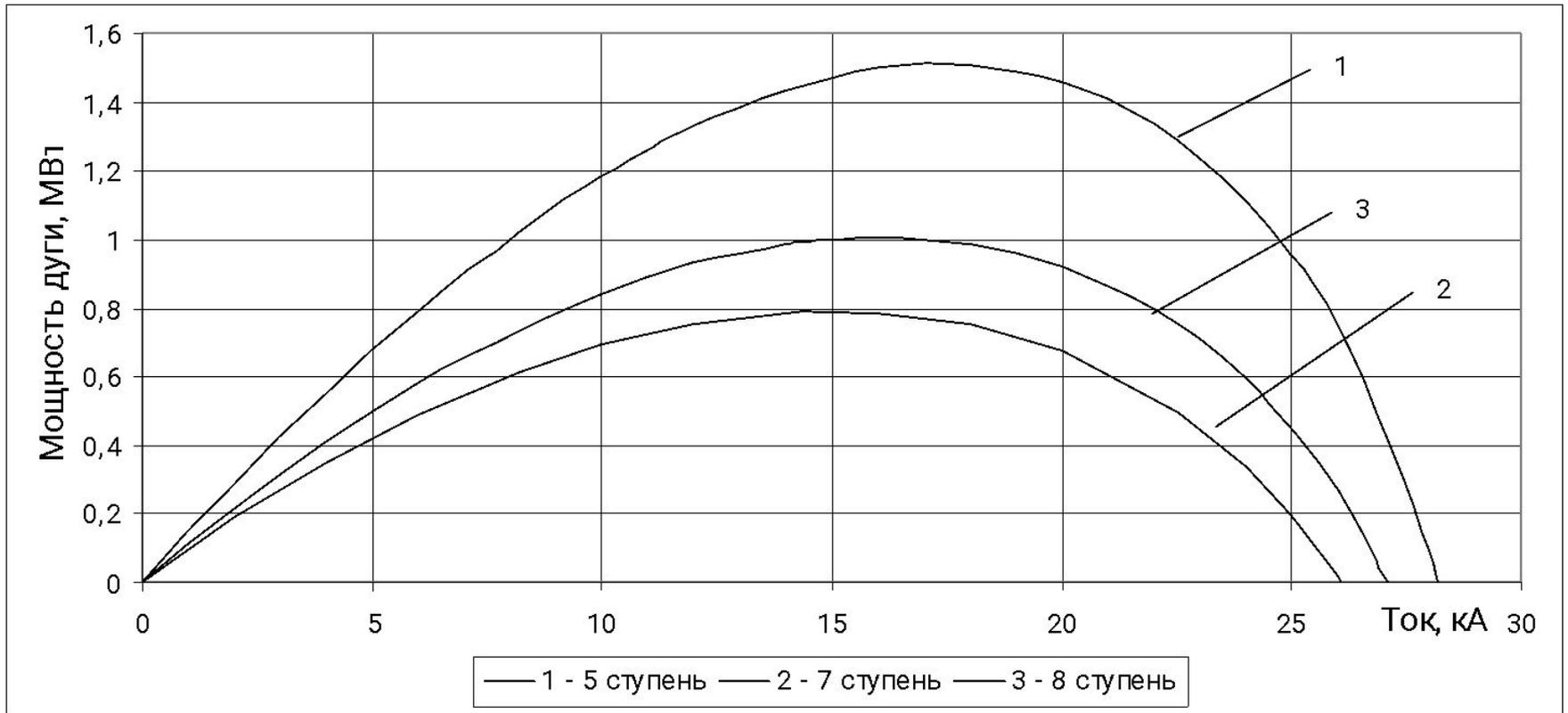
$$\cos \varphi' = \frac{1 + \cos \varphi_{\text{т.п.}}}{\sqrt{(1 + \cos \varphi_{\text{т.п.}})^2 + \gamma^2 \cos^2 \varphi_{\text{т.п.}}}} \quad \eta'_{\text{эл}} = \frac{1}{1 + \cos \varphi_{\text{т.п.}}}$$

При  $\gamma = 6 \div 10$ .

$$I' \approx \frac{E}{\sqrt{2x}}; \quad P_{\text{д.макс}} \approx \frac{3E^2}{2x}; \quad \cos \varphi' \approx 0,707; \quad \eta'_{\text{эл}} \approx 1$$

$$I^* = \sqrt{1 - 2\beta^2}; \quad P_{\text{д}}^* = \sqrt{2(1 - 2\beta^2)}; \quad \cos \varphi = \sqrt{2\beta}; \quad \eta_{\text{эл}} = 1.$$

# Регулирование по напряжению трансформатора



Влияние напряжения трансформатора на зависимость мощности дуги от тока

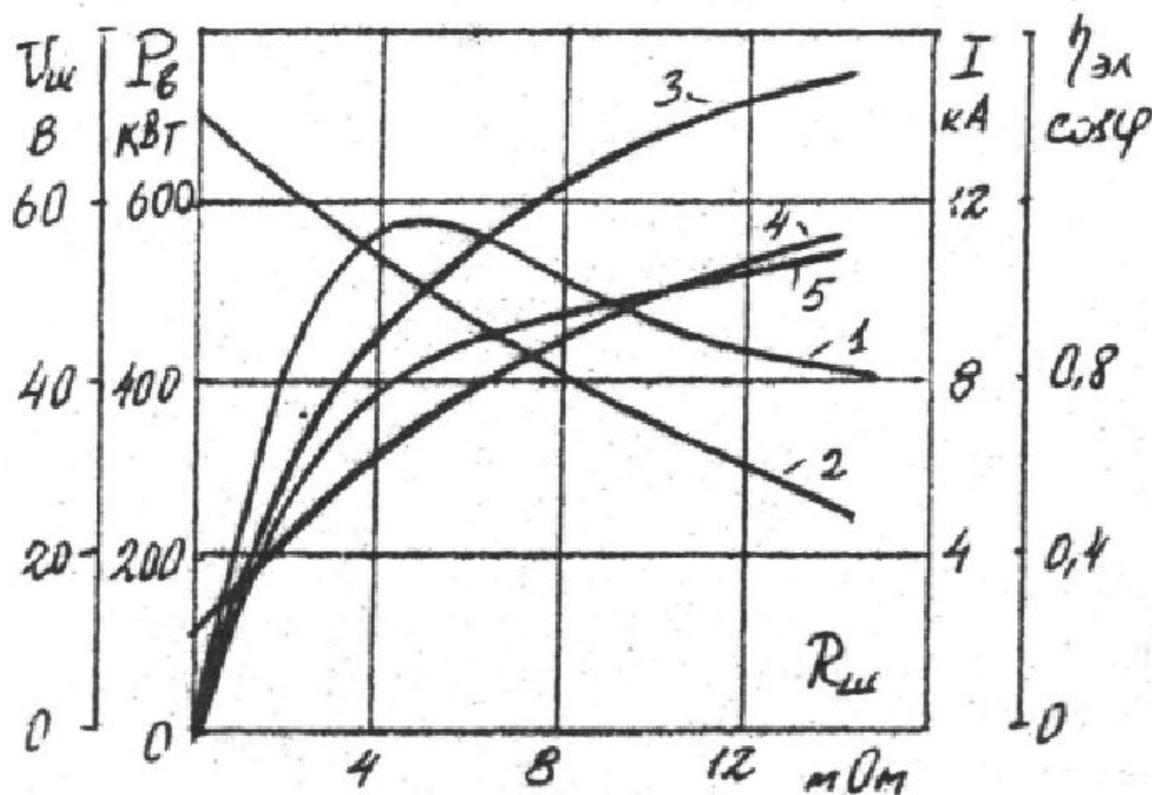
# Электрические характеристики РЭЭП

В качестве независимой переменной принимается  
сопротивление ванны  $R_B$ .

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{E}{\sqrt{(r + R_B)^2 + x^2}}; & P_B &= \frac{E^2}{(r + R_B)^2 + x^2} \cdot R_B; \\ U_B &= E \cdot \frac{R_B}{\sqrt{(r + R_B)^2 + x^2}}; & \cos\varphi &= \frac{r + R_B}{\sqrt{(r + R_B)^2 + x^2}}; & \eta_{\text{эл}} &= \frac{R_B}{r + R_B}. \end{aligned} \right\}$$

# Электрические характеристики электрошлаковой печи:

- 1- мощность ванны; 2- ток;  
3- напряжение ванны; 4-  $\cos \varphi$ ; 5 –  $\eta_{эл}$



Экстремум мощности наступает при  $R_{в} = z$ .  
В отличие от характеристик в функции тока экономичная область режимов лежит вправо от точки максимума мощности.

При неизменном сопротивлении ванны увеличение питающего напряжения приводит к пропорциональному росту тока и напряжения ванны и квадратичному - мощности ванны. В отличие от характеристик в функции тока экстремум мощности по характеристике не сдвигается. Остаются неизменными и зависимости КПД и коэффициента мощности.

# Характеристики в относительных единицах

$$I_{\sigma} = I_{\text{к.ид}} = \frac{E}{x}; \quad U_{\sigma} = E; \quad S_{\sigma} = 3U_{\sigma}I_{\sigma} = 3EI_{\text{к.ид}} \quad \square$$

Тогда

$$I^* = \frac{I}{I_{\sigma}}; \quad P_{\text{д}}^* = \frac{P_{\text{д}}}{S_{\sigma}}; \quad U_{\text{д}}^* = \frac{U_{\text{д}}}{E} \quad \beta = \frac{U_{\text{д}}^*}{\sqrt{2}}$$

$$I^* = \sqrt{1 - 2\beta^2}; \quad P_{\text{д}}^* = \sqrt{2(1 - 2\beta^2)}; \quad \cos\varphi = \sqrt{2}\beta; \quad \eta_{\text{эл}} = 1.$$

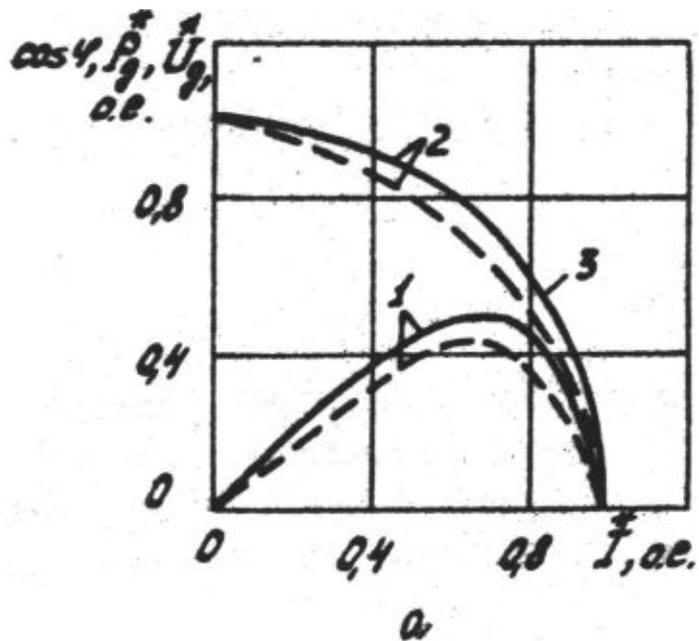
## В режиме максимальной мощности

Активные мощности печи и дуги одинаковы и равны 0,5 S,

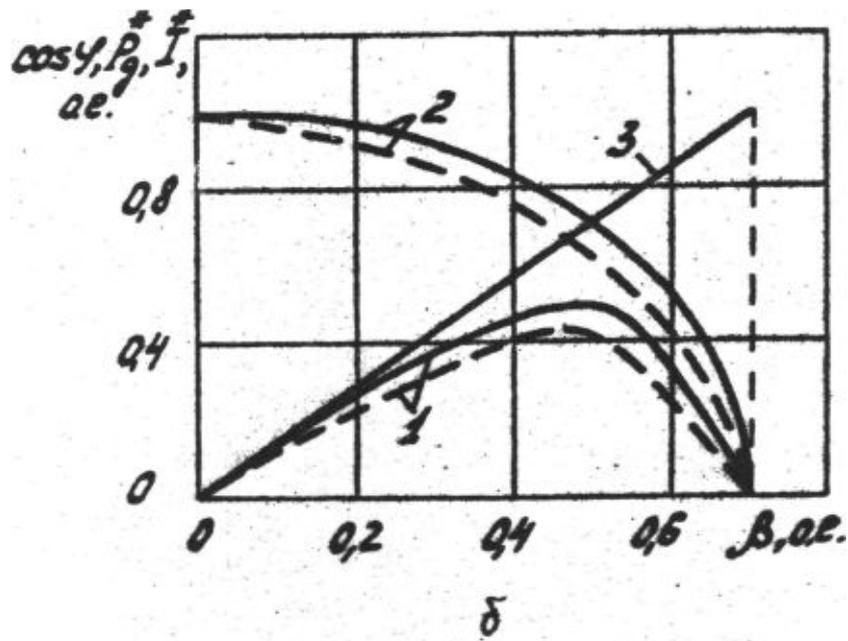
относительные значения тока, напряжения дуги,

коэффициента мощности равны 0,707. Коэффициент  $\beta$  равен 0,5

# Электрические характеристики в относительных единицах в функции тока (а) и относительного напряжения дуги (б)



кривая 1 - мощность дуги, 2 - напряжение, 3 -  $\cos \varphi$ ;



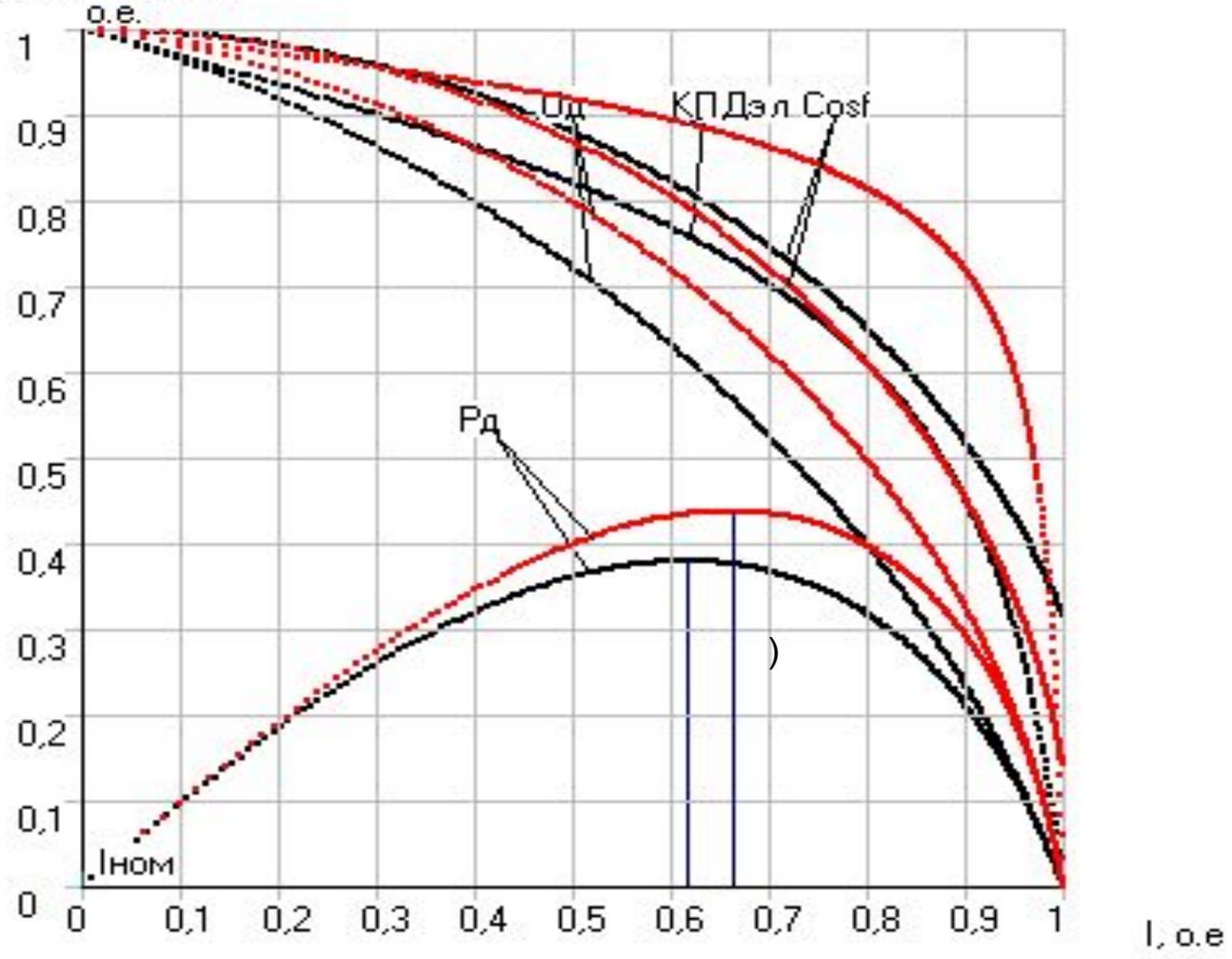
1 - мощность дуги, 2 - ток, 3 -  $\cos \varphi$  (пунктир  $\gamma = 6$ )

# Влияние коэффициента

## Влияние коэффициента

$\gamma$

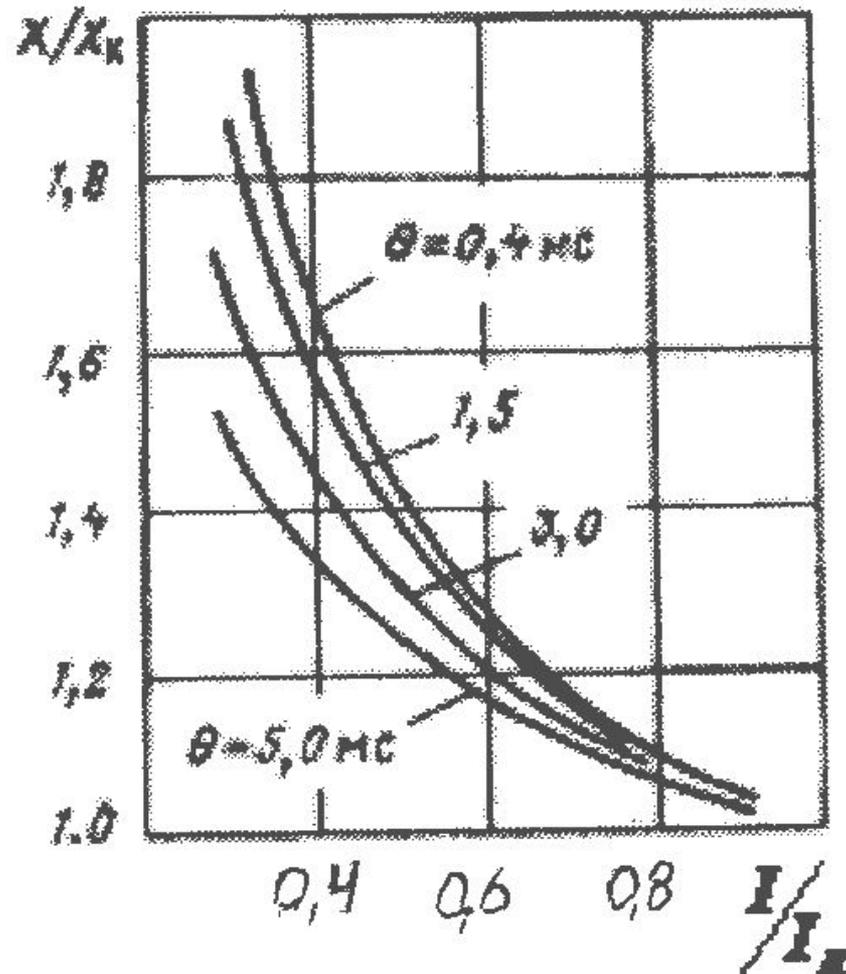
$P_d$ ,  
 $U_d$ ,  $\cos\phi$ , КПДэл.,  
о.е.



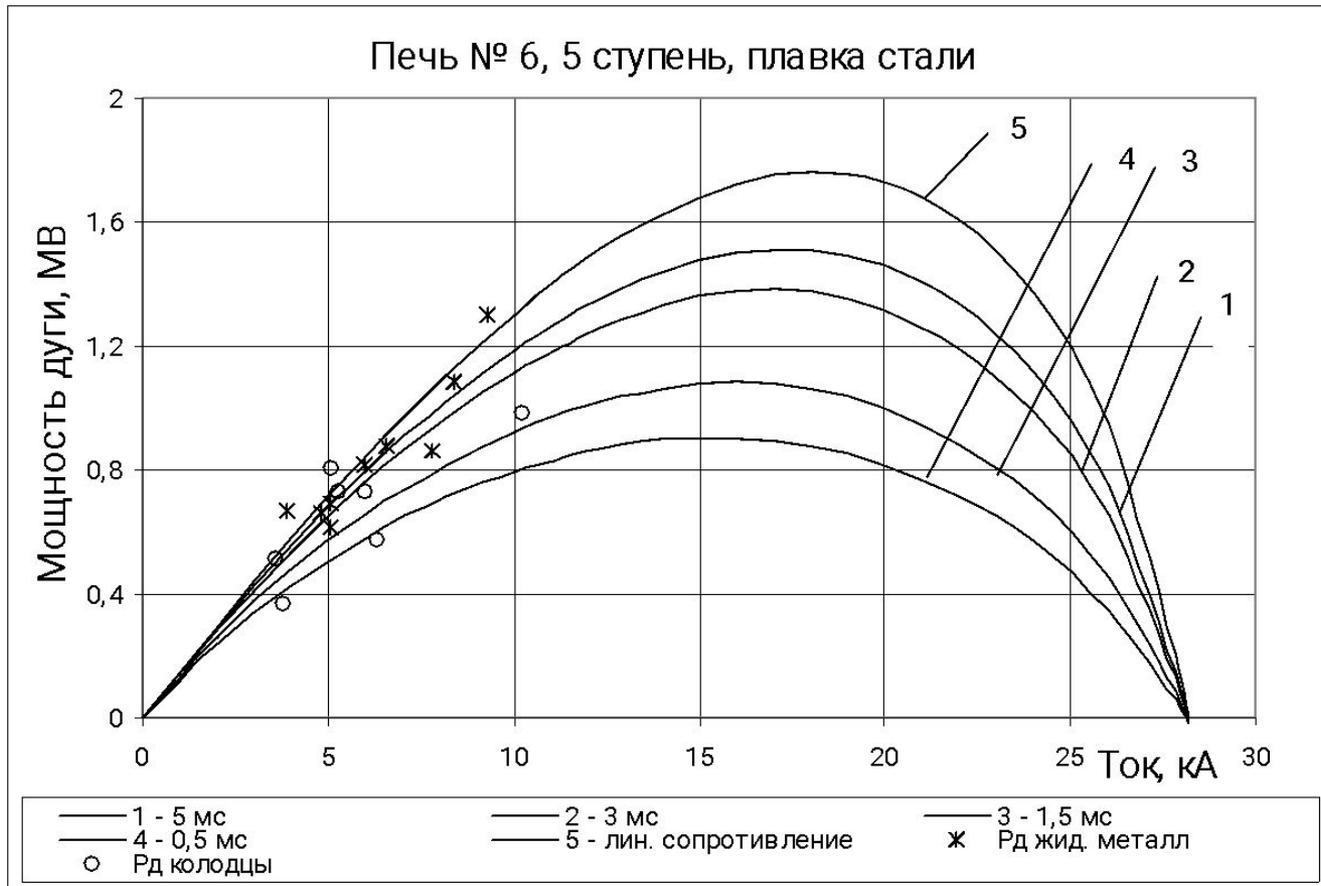
кривые, обозначенные черным  
цветом -

$\gamma=3$ ; красным -  $\gamma=7$

# Нелинейность токоподвода

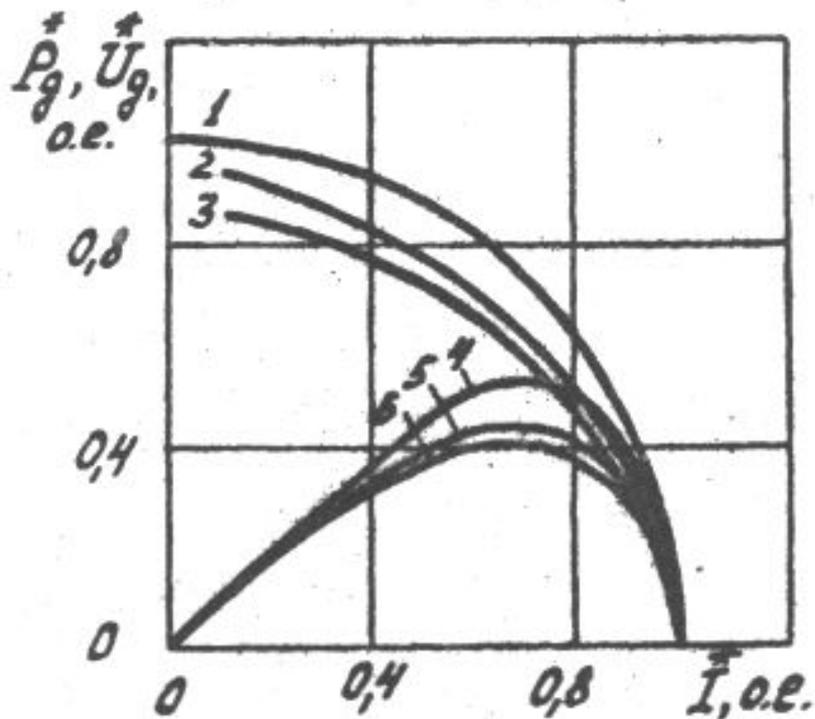


# Влияние периода плавки и инерционности на мощность дуги

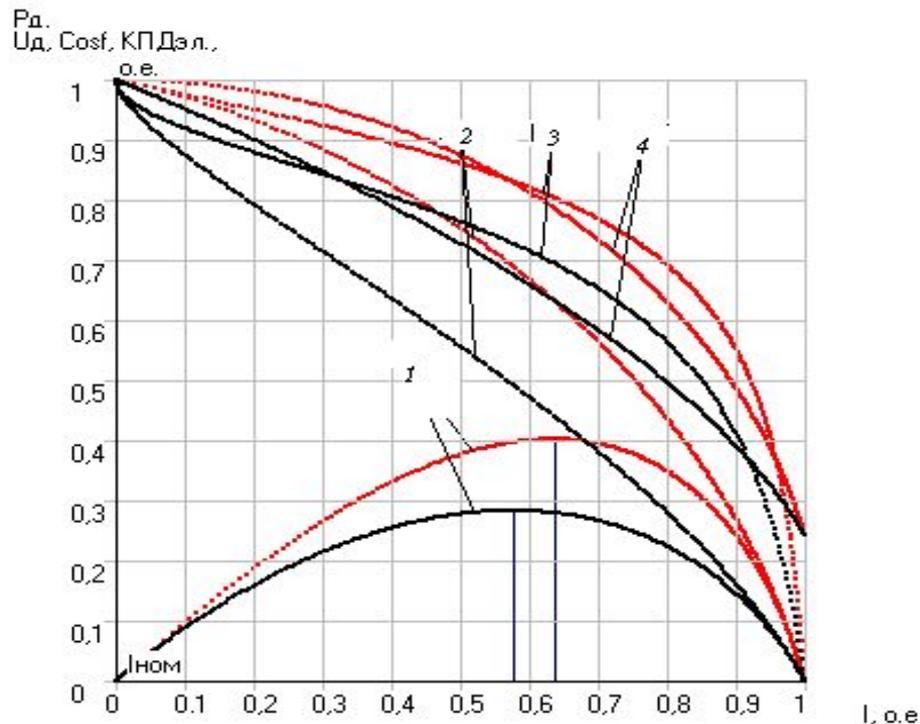


# Электрические характеристики ДСП с учетом нелинейности токоподвода:

1, 2, 3 – напряжение дуги; 4, 5, 6 – мощность; 1, 4 – без учета нелинейности; 2, 5 –  $\theta = 3$  мс; 3, 6 –  $\theta = 0,5$  мс

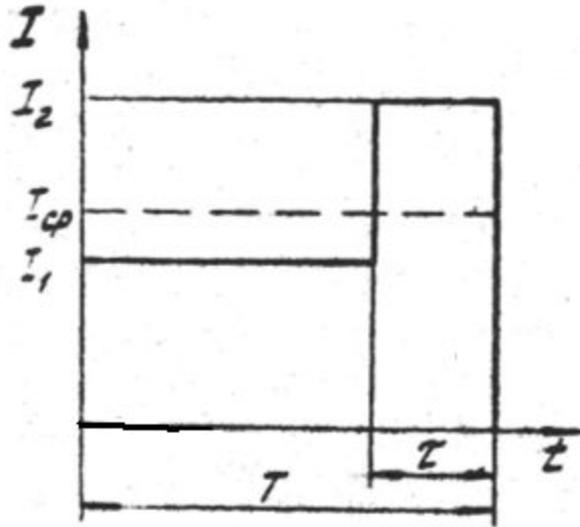


Учет нелинейности и несинусоидальности сдвигает характеристики  $\bar{I}_M$  влево (равен 0,58 вместо 0,64). Снижаются мощность в режиме максимума (с 0,4 до 0,28), напряжение дуги (с 0,65 до 0,5), электрический КПД (0,8 до 0,72) и коэффициент мощности (с 0,79 до 0,66).



Сравнение ЭХ ДСП в период расплавления с  $\gamma = 4$  без учета нелинейности (кривые красного цвета) и с учетом нелинейности и несинусоидальности (кривые черного цвета) (кривые 1 – мощность дуги, 2- напряжение дуги, 3-  $\eta_{эл}$ , 4 -  $\cos \varphi$  )

# Влияние колебательности режима



Кривая тока  
при его колебаниях

$$\tau^* = \frac{\tau}{T}$$

$$P_{\text{пот}} = \left[ I_1^2 (1 - \tau^*) + I_2^2 \tau^* \right] \cdot r$$

$$P_{\text{пот}} = I_{\text{cp}}^2 r_{\text{экв}}$$

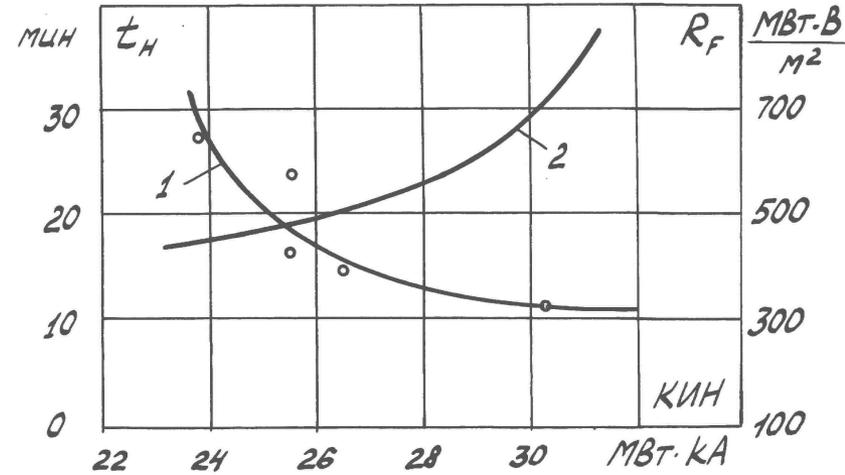
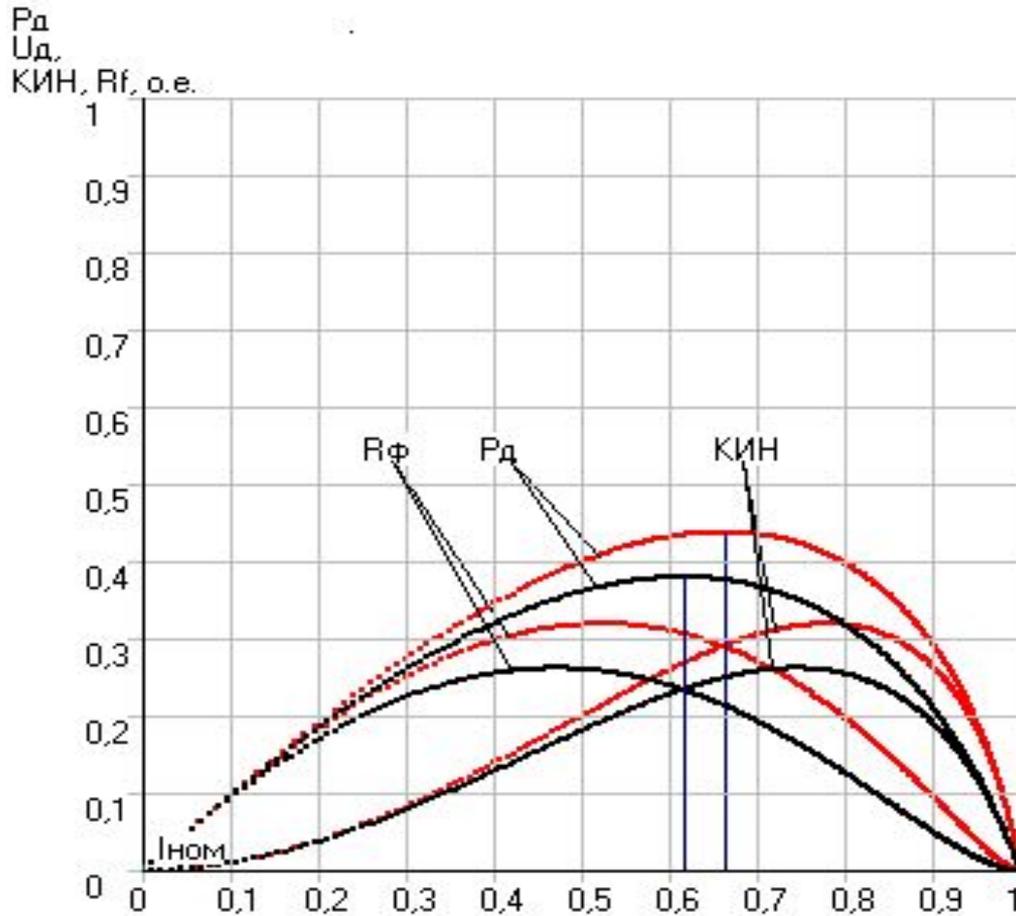
$$r_{\text{экв}} = \frac{I_1^2 (1 - \tau^*) + I_2^2 \tau^*}{\left[ I_1 (1 - \tau^*) + I_2 \tau^* \right]^2} \cdot r = \frac{1 + \frac{I_2^2 - I_1^2}{I_1^2} \cdot \tau^*}{\left( 1 + \frac{I_2 - I_1}{I_1} \cdot \tau^* \right)^2} \cdot r$$

Коэффициент износа футеровки

$$R_F = \frac{P_D U_D}{a^2}$$

Коэффициент интенсивности нагрева

$$КИН = P_D I$$



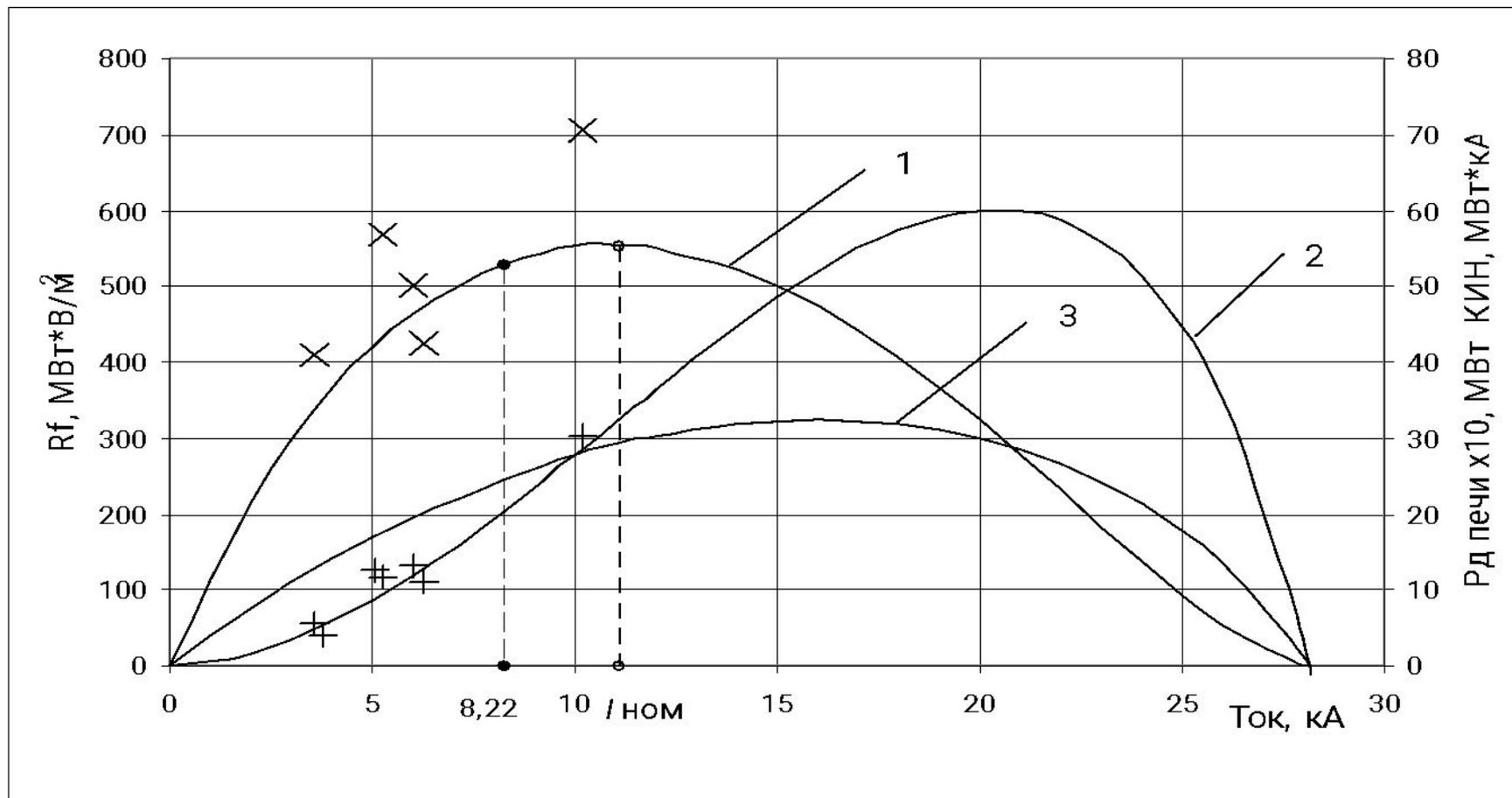
$$\bar{I}_F = 0,577$$

$$\bar{I}_M = 0,707$$

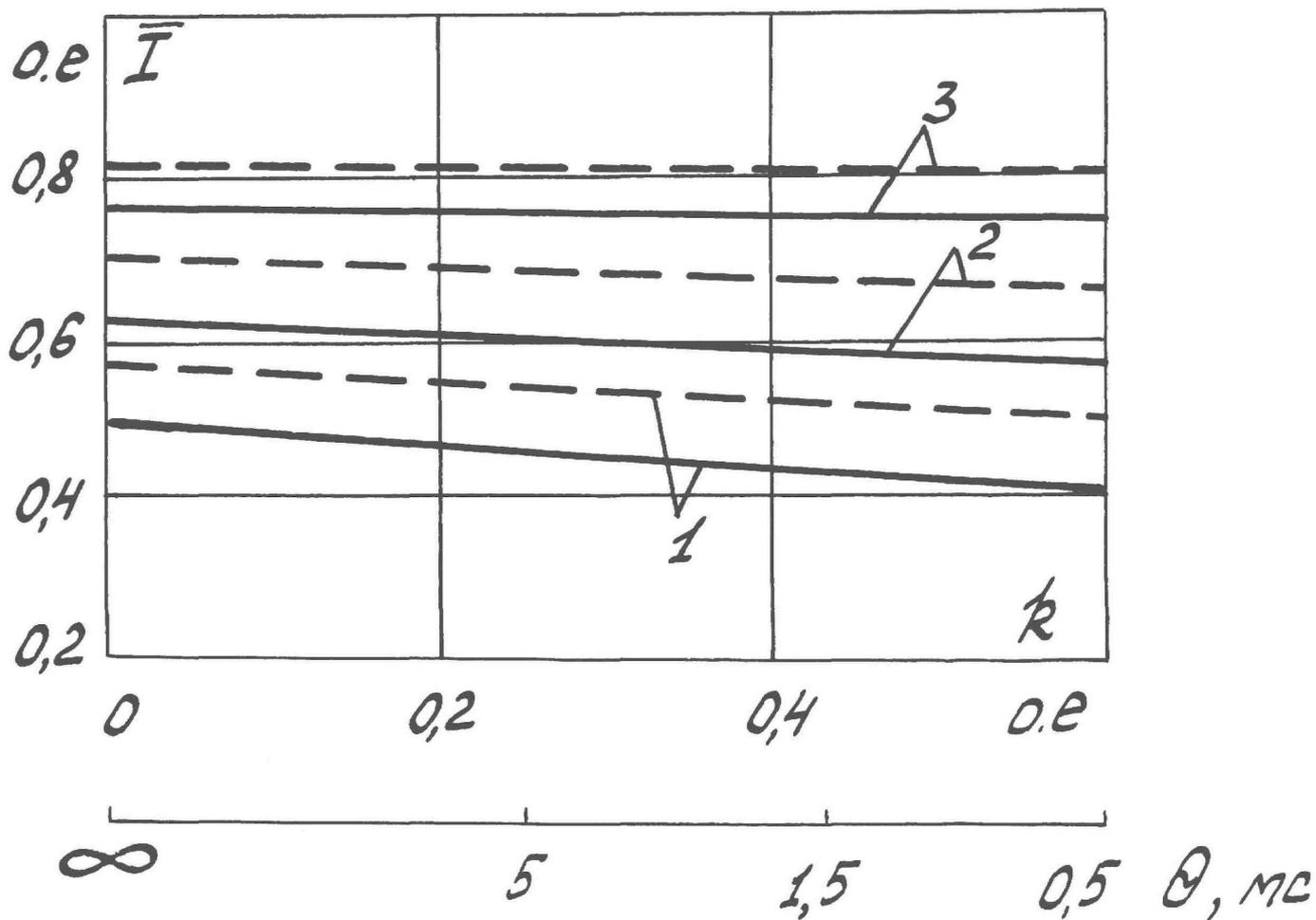
$$\bar{I}_H = 0,816$$

$I, o.e.$

# Зависимости $R_F$ (кривая 1), КИН (2) и мощности дуги (3) от тока печи



Зависимости относительных значений токов в особых точках режимов от степени нелинейности токоподвода и постоянной времени дуги  $\gamma = 4$  (сплошные);  $\gamma = 10$  (пунктир)



# Влияние напряжения на электрические характеристики ДСП при неизменном токе

