

ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ. УЛУЧШЕНИЕ ЗАГРУЗКИ РАБОЧИХ МАШИН. СОКРАЩЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Климова Галина Николаевна

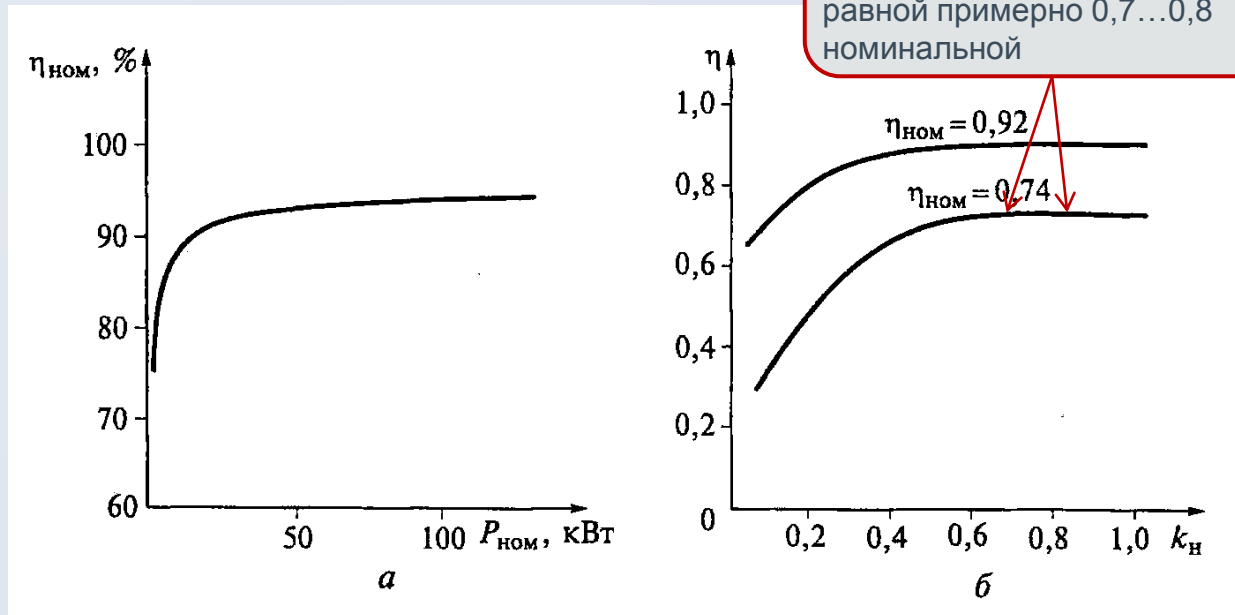
к.т.н., доцент кафедры ЭПП ТПУ



Загрузка оборудования

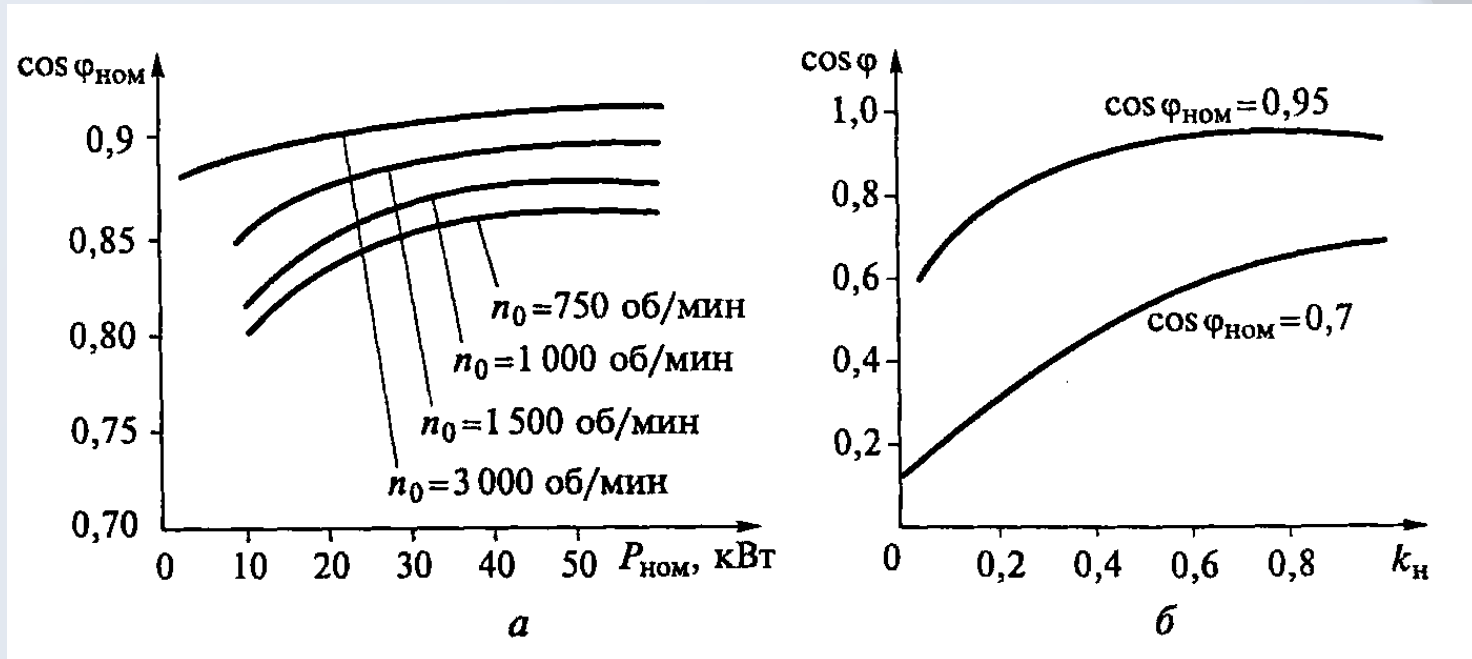
- Увеличение средней нагрузки рабочих машин (станков и т.д.) снижает удельные расходы электроэнергии
- Из рис. 1 видно, что при уменьшении нагрузки снижается к.п.д. ЭД (особенно – рабочей машины) и $\cos\varphi$

Максимального значения КПД достигает при механической нагрузке на валу двигателя, равной примерно 0,7...0,8 номинальной



Зависимости номинального КПД двигателя:
а) от номинальной мощности; б) от коэффициента нагрузки

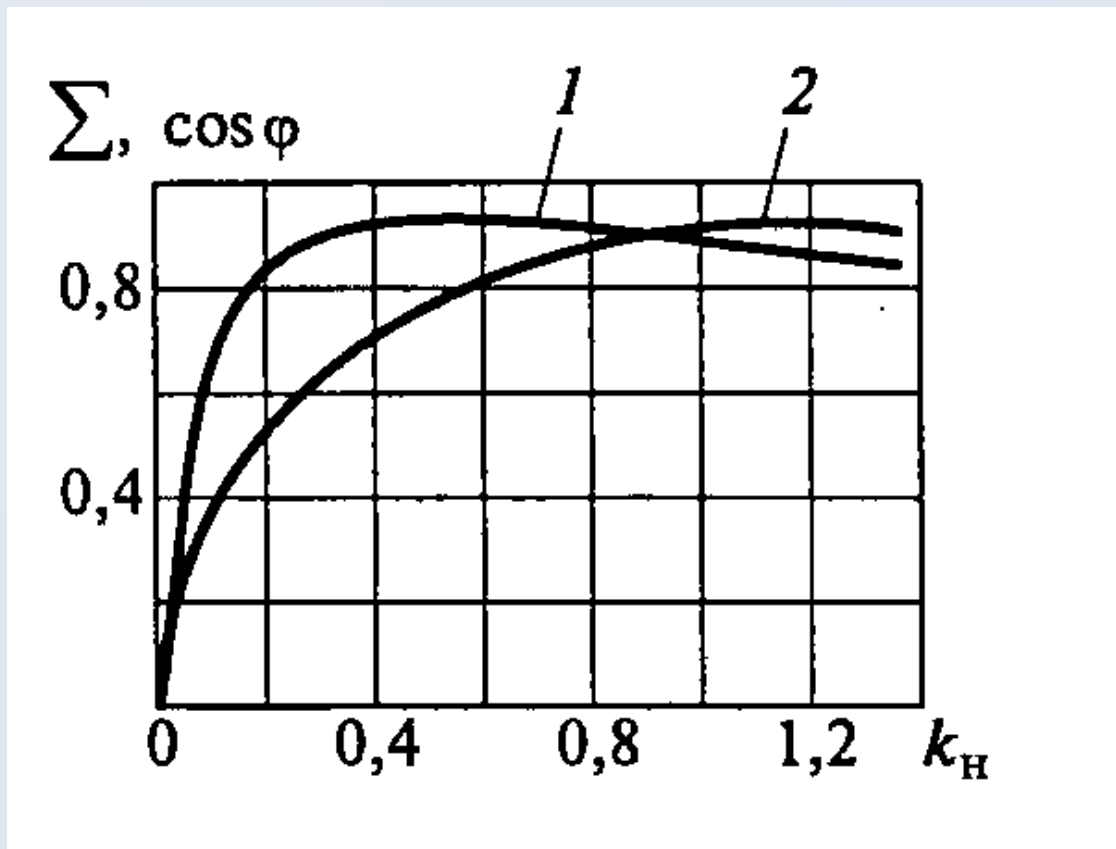
$\cos\varphi_{\max}$ примерно в области максимальной нагрузки двигателя



Зависимости номинального коэффициента мощности от:

а) номинальной мощности; б) коэффициента нагрузки двигателя

Для большинства АД $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,8 \dots 0,9$. Для этих значений $Q = (0,5 \dots 0,75)P_{\text{в}}$, т.е. АД на каждый кВт активной мощности потребляет из сети $(0,5 \dots 0,75)$ кВАр реактивной мощности



Зависимости кпд (1) и коэффициента мощности (2) от коэффициента нагрузки двигателя

Оценка экономии ЭЭ при увеличении загрузки оборудования

1. Потребляемая энергия

$$W_{\Pi} = P_{\max} \cdot T_{\max}$$

P_{\max} – мощность, потребляемая рабочей машиной в режиме максимальной нагрузки, кВт

T_{\max} – время полезной работы машины (число часов использования максимума нагрузки), ч



2. Удельный расход энергии

$$\Delta W = \frac{1}{\eta_{\text{MH}} \cdot k_{\text{H}}} \cdot \left(k_{\text{H}} + \frac{\alpha \cdot (1 - \eta_{\text{MH}})}{k_{\text{T}}} \right)$$

η_{MH} – к.п.д. рабочей машины при полной нагрузке

$k_{\text{H}} = P_{\text{max}} / P_{\text{H}}$ – коэффициент нагрузки

$k_{\text{T}} = T_{\text{max}} / (T_{\text{max}} + T_{\text{ХХ}})$ – коэффициент использования рабочей машины

$T_{\text{ХХ}}$ – время работы машины на холостом ходу

α – коэффициент, зависящий от типа и конструкции рабочей машины, равный 0,7–0,9



3. Удельный расход энергии при отсутствии ХХ

$$k_T = 1$$

$$\Delta W' = \frac{k_H + \alpha \cdot (1 - \eta_{MH})}{\eta_{MH} \cdot k_H}$$

4. Удельный расход энергии при максимальном использовании машины (ХХ отсутствует, нагрузка максимальная)

удельный расход минимальный

$$\Delta W_0 = \frac{1 + \alpha \cdot (1 - \eta_{MH})}{\eta_{MH}}$$

5. Коэффициент увеличения удельного расхода энергии

$$\beta = \Delta W / \Delta W_0$$

$$\beta = \frac{k_H k_T + \alpha(1 - \eta_{MH})}{[1 + \alpha(1 - \eta_{MH})k_H k_T]}$$



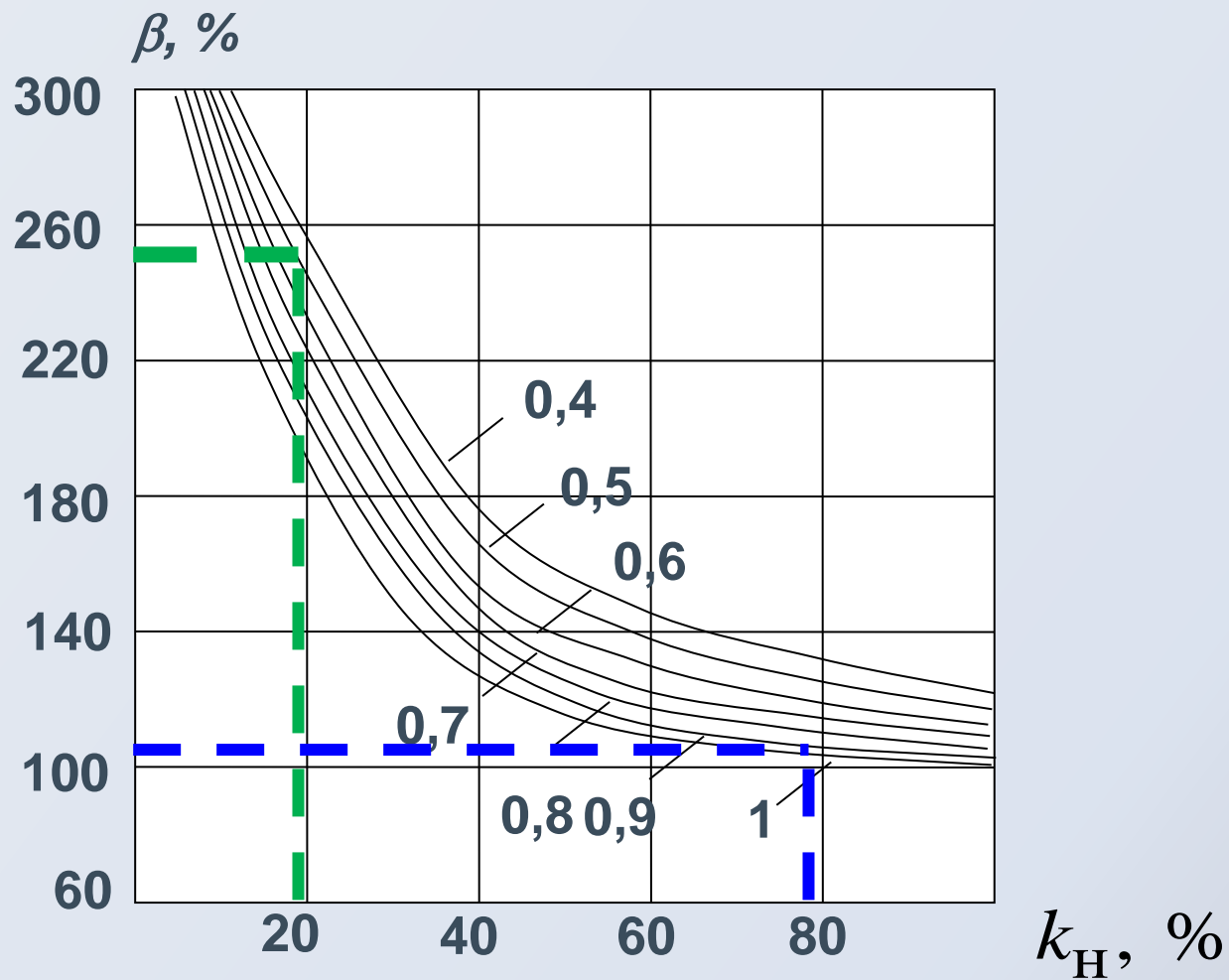


Рис. 2. Зависимость коэффициента увеличения удельного расхода энергии от коэффициента нагрузки

6. Оценка экономии ЭЭ при повышении k_H и k_T

$$\Delta W = (\beta_1 - \beta_2) \cdot \Delta W_0$$

- β_1, β_2 – определяются по рис. 2 в зависимости от k_H и k_T
- ΔW_0 – часовой удельный расход энергии при максимальной загрузке машины



Пример 1

Исходные данные

Оценить часовую ($\Delta W_{\text{ч}}$) и стоимость годовой экономии ЭЭ ($\Delta C_{\text{год}}$)

- Станок работал с нагрузкой, равной 20% номинальной мощности ($k_{\text{н1}} = 20\%$), и продолжительностью периода ХХ, равной 50% ($k_{\text{т1}} = 0,5$)
- Нагрузку станка увеличили до $k_{\text{н2}} = 80\%$ сократив период ХХ до $k_{\text{т2}} = 0,9$
- Тариф на ЭЭ $T = 2,14$ руб./кВтч
- Число часов работы станка в год $T_{\text{max}} = 5000$ ч
- $\Delta W_0 = 1,48$ кВтч



Решение

- Часовая экономия ЭЭ

$$\Delta W_{\text{ч}} = (\beta_1 - \beta_2) * \Delta W_0 = (2,50 - 1,05) * 1,48 = 2,15 \text{ кВтч}$$

- Стоимость годовой экономии ЭЭ

$$\Delta C_{\text{год}} = \Delta W_{\text{ч}} * T_{\text{max}} * T = 2,15 * 5000 * 2,14 = 23005 \text{ руб}$$

- Замена незагруженных электродвигателей

При нагрузке ЭД в пределах 45–70% номинальной мощности целесообразность их замены должна быть подтверждена уменьшением суммарных приведенных потерь активной мощности в электрической системе и в электродвигателе.



Суммарные приведенные потери мощности определяются

$$\Delta P'_{\Sigma} = \left[Q_{\text{XX}} \cdot (1 - k_{\text{H}}^2) + k_{\text{H}}^2 \cdot Q_{\text{H}} \right] \cdot k_{\text{Э}} + \Delta P_{\text{XX}} + k_{\text{H}}^2 \cdot \Delta P_{\text{ан}}$$

где:

$Q_{\text{XX}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{H}} \cdot I_{\text{XX}}$ – реактивная мощность, потребляемая ЭД из сети при холостом ходе, кВАр

I_{XX} – ток холостого хода ЭД, А

U_{H} – номинальное напряжение ЭД, В

$k_{\text{H}} = P / P_{\text{H}}$ – коэффициент нагрузки ЭД

P – нагрузка ЭД, кВт

P_{H} – номинальная мощность ЭД, кВт

$Q_{\text{H}} = \frac{P_{\text{H}}}{\eta_{\text{д}}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{H}}$ – реактивная мощность ЭД при номинальной нагрузке, кВАр

$\eta_{\text{д}}$ – к.п.д. электродвигателя при полной нагрузке

$\text{tg} \varphi_{\text{H}}$ – коэффициент реактивной мощности ЭД

$k_{\text{Э}}$ – коэффициент повышения потерь, кВт/кВАр



$$\Delta P_{\text{XX}} = P_{\text{H}} \cdot \left(\frac{1 - \eta_{\text{Д}}}{\eta_{\text{Д}}} \right) \cdot \left(\frac{\gamma}{1 + \gamma} \right) \quad \text{– потери активной мощности при XX ЭД, кВт}$$

$$\Delta P_{\text{аН}} = P_{\text{H}} \cdot \left(\frac{1 - \eta_{\text{Д}}}{\eta_{\text{Д}}} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + \gamma} \right) \quad \text{– прирост потерь активной мощности в ЭД при нагрузке 100%, кВт}$$

$\gamma = \Delta P_{\text{XX}} / \Delta P_{\text{аН}}$ – расчетный коэффициент, зависящий от конструкции ЭД

$$\gamma = \frac{\Delta P_{\text{XX}}, \%}{(100 - \eta_{\text{H}}, \%) - \Delta P_{\text{XX}}, \%}$$

$\Delta P_{\text{XX}}, \%$ – потери XX в процентах активной мощности, потребляемой двигателем при загрузке 100%

$$\Delta P_{\text{XX}}, \text{ кВт} = X, \%$$

$$P_{\text{НОМ}}, \text{ кВт} = 100, \%$$



$$\Delta P_{\text{XX}}, \% = ((\Delta P_{\text{XX}} * 100) / P_{\text{НОМ}})$$



ПРИМЕР 2

- ЭД1 мощностью $P_{н1} = 125$ кВт работает с нагрузкой $P = 70$ кВт
- Необходимо проверить рентабельность его замены ЭД2 $P_{н2} = 75$ кВт
- Коэффициент повышения потерь $k_{э} = 0,1$ кВт/кВар



Параметры ЭД1:

- $U_{н1} = 380 \text{ В}$
- $\eta_{н1} = 0,92$
- $\cos \varphi_{н1} = 0,92$
- $I_{хх1} = 71 \text{ А}$
- $\Delta P_{хх1} = 4,4 \text{ кВт}$

Параметры ЭД2:

- $U_{н2} = 380 \text{ В}$
- $\eta_{н2} = 0,91$
- $\cos \varphi_{н2} = 0,92$
- $I_{хх2} = 42,6 \text{ А}$
- $\Delta P_{хх2} = 3,2 \text{ кВт}$
- $Ц2 = 65 \text{ тыс. руб}$

- Тариф на ЭЭ $T = 2,14 \text{ руб./кВтч}$
- Число часов работы двигателя в году
 $T_{\max} = 6500 \text{ ч}$



РЕШЕНИЕ

Оценка суммарных часовых потерь мощности для ЭД1

1. На XX ЭД1 потребляет, кВар

$$Q_{XX1} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 71 \cdot 10^{-3} = 46,7$$

2. Работая с номинальной нагрузкой, кВар

$$Q_{H1} = \frac{125}{0,92} \cdot 0,426 = 57,9$$

3. Коэффициент нагрузки

$$k_{H1} = \frac{P}{P_{H1}} = \frac{70}{125} = 0,56;$$

4. Расчетный к-т (зависит от конструкции ЭД)

$$\gamma = \frac{4,4}{(100 - 92) - 4,4} = 1,22$$



5. Прирост потерь активной мощности при 100% нагрузке, кВт

$$\Delta P_{\text{ан1}} = 125 \cdot \frac{1 - 0,92}{0,92} \cdot \frac{1}{1 + 1,22} = 4,9$$

6. Суммарные приведенные потери мощности, кВт

$$\Delta P_{\Sigma 1} = 46,7 \cdot \left[(1 - 0,56^2) + 0,56^2 \cdot 57,9 \right] \cdot 0,1 + 4,4 + 0,56^2 \cdot 4,9 = 10,96$$



СУММАРНЫЕ ЧАСОВЫЕ ПОТЕРИ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЭД2

- $Q_{хх2} = 28$ кВар
- $Q_{н2} = 35,1$ кВар
- $k_{н2} = 0,93$
- $\gamma_2 = 0,55$
- $\Delta P_{ан2} = 4,78$ кВт
- $\Delta P_{\Sigma 2} = 8,79$ кВт



Стоимость сэкономленной ЭЭ

$$\Delta C_{\text{год}} = (\Delta P_{\Sigma 1} - \Delta P_{\Sigma 2}) * T_{\text{max}} * T = (10,96 - 8,79) * 6500 * 2,14 = 30,1 \text{ тыс. руб}$$

Простой срок окупаемости замены ЭД1

$$T_{\text{п}} = C_2 / \Delta C_{\text{год}} = 65 / 30,1 = 2,2 \text{ год}$$



ПРИМЕР 3

- В качестве приводного двигателя на насосе установлен двигатель с $P_{\text{ном1}} = 55\text{кВт}$, $U_{\text{ном}} = 380\text{В}$, $\cos\varphi_{\text{ном1}}=0,89$, $\eta_{\text{ном1}} = 0,91$
- Нагрузка на валу двигателя равна $P_{\text{в}} = 28\text{кВт}$, $\cos\varphi_1=0,81$, $\eta_1 = 0,865$
- Предлагается указанный двигатель заменить на двигатель с $P_{\text{ном2}} = 28\text{кВт}$, $U_{\text{ном}} = 380\text{В}$, $\cos\varphi_{\text{ном2}}=0,88$, $\eta_{\text{ном2}} = 0,90$
- Определить снижение потерь активной мощности и активной энергии за год от замены двигателя, если насос работает $T=4000\text{ч}$ в году, $k_{\text{э}}=0,1$ кВт/кВАр



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

