



## Лекция .Выбор мощности электродвигателей. Нагрев и охлаждение электродвигателя.

1. Основные положения.
2. Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.
3. Способы определения постоянной нагревания.
4. Факторы, определяющие мощность электродвигателей.

## Основные положения.

Мощность электродвигателей выбирается, исходя из необходимости обеспечить выполнение заданной работы электропривода, при соблюдении нормального теплового режима и допустимой механической перегрузки двигателя.

Поэтому выбор мощности двигателя производится исходя из основного условия: обеспечения его номинального нагрева для конкретного режима работы.

## Основные положения.

Затем мощность двигателя в зависимости от его режима работы и характера нагрузки уточняется по дополнительным условиям:

- обеспечению пуска электропривода с учетом возможного снижения напряжения;
- перегрузочной способности (обеспечение статической и динамической устойчивости ЭП);
- перегреву при затяжном пуске;
- частоте включений.

## Основные положения.

Основой расчета мощности электродвигателя в любом режиме служит нагрузочная диаграмма, показывающая зависимость выбранного показателя нагрузки электродвигателя от времени:

$$M = f(t); P = f(t); I = f(t).$$

Нагрузочные диаграммы электропривода получают расчетным путем или экспериментально.

# Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.

В тепловом отношении электрическая машина – сложный объект: она неоднородна по материалу, имеет рассредоточенные внутренние источники тепла, интенсивность которых зависит от режима, от режима работы также зависит направление тепловых потоков, теплоотдача зависит от скорости и т.п.

# Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.

В целях упрощения решения принимают ряд допущений:

- отдельные части электрических машин однородны с бесконечно большой теплопроводностью, благодаря чему температура всех его точек одновременно достигает одинакового значения температуры;
- теплоту, отдаваемую излучением, ввиду малости не учитывают;

# Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.

- теплоотдача электродвигателя пропорциональна первой степени превышения температуры электродвигателя над температурой окружающей среды;
- нагрузка на валу электродвигателя, потери мощности и температура окружающей среды в момент рассмотрения неизменны.

# Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.

В электродвигателе в виде теплоты выделяется энергия  $\Delta P dt$ , одна часть которой  $cd\tau$  будет затрачена на нагрев самого двигателя, а другая  $A\tau dt$  будет отдана в окружающую среду. Таким образом справедливо равенство

$$\Delta P dt = A\tau dt + cd\tau, \text{ Дж}$$

# Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.

Разделим переменные

$$(\Delta P - A\tau)dt = cd\tau \Rightarrow dt = \frac{c \cdot d\tau}{\Delta P - A\tau}.$$

После интегрирования получим

$$t = -\frac{c}{A} \ln(\Delta P - A\tau) + K$$

Постоянную интегрирования  $K$  получим из условия, что при  $t=0$ ,  $\tau=\tau_0$ :

$$K = \frac{c}{A} \ln(\Delta P - A\tau_0).$$

# Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.

Подставив полученное значение  $K$  в предыдущее уравнение получим

$$t = -\frac{c}{A} \ln(\Delta P - A\tau) + \frac{c}{A} \ln(\Delta P - A\tau_0) = -\frac{c}{A} \ln \frac{\Delta P - A\tau}{\Delta P - A\tau_0}.$$

Решим уравнение относительно  $\tau$ :

$$-\frac{c}{A} t = \ln \frac{\Delta P - A\tau}{\Delta P - A\tau_0}.$$

# Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.

Потенцируя левую и правую часть получим

$$e^{-\frac{A}{c}t} = \frac{\Delta P - A\tau}{\Delta P - A\tau_0}$$

Отсюда

$$(\Delta P - A\tau_0)e^{-\frac{A}{c}t} = \Delta P - A\tau; \quad (\Delta P - A\tau_0)e^{-\frac{A}{c}t} - \Delta P = -A\tau;$$

$$\tau = -\frac{\Delta P}{A}e^{-\frac{A}{c}t} + \frac{A\tau_0}{A}e^{-\frac{A}{c}t} + \frac{\Delta P}{A};$$

$$\tau = \frac{\Delta P}{A} \left( 1 - e^{-\frac{A}{c}t} \right) + \tau_0 e^{-\frac{A}{c}t}.$$

# Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.

Обозначим

$$\tau_y = \frac{\Delta P}{A} \quad \text{-установившееся превышение температуры;}$$

$$T_n = \frac{c}{A_n} \quad \text{-постоянная времени нагревания,}$$

получим

$$\tau = \tau_y \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_n}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T_n}}.$$

# Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.

Постоянная времени нагрева  $T_n$  характеризует скорость нагревания двигателя.

Постоянную нагревания можно представить как время, в течение которого двигатель достиг бы установившейся температуры, если бы отдача тепла в окружающую среду отсутствовала.

# Уравнения теплового баланса, нагрева и охлаждения электродвигателя.

В реальных условиях при наличии теплоотдачи температура двигателя за время  $T_n$  повысится лишь до значения

$$\tau = \tau_y \left( 1 - e^{-\frac{T_n}{T_n}} \right) = \tau_y (1 - e^{-1}) = 0,632 \tau_y.$$

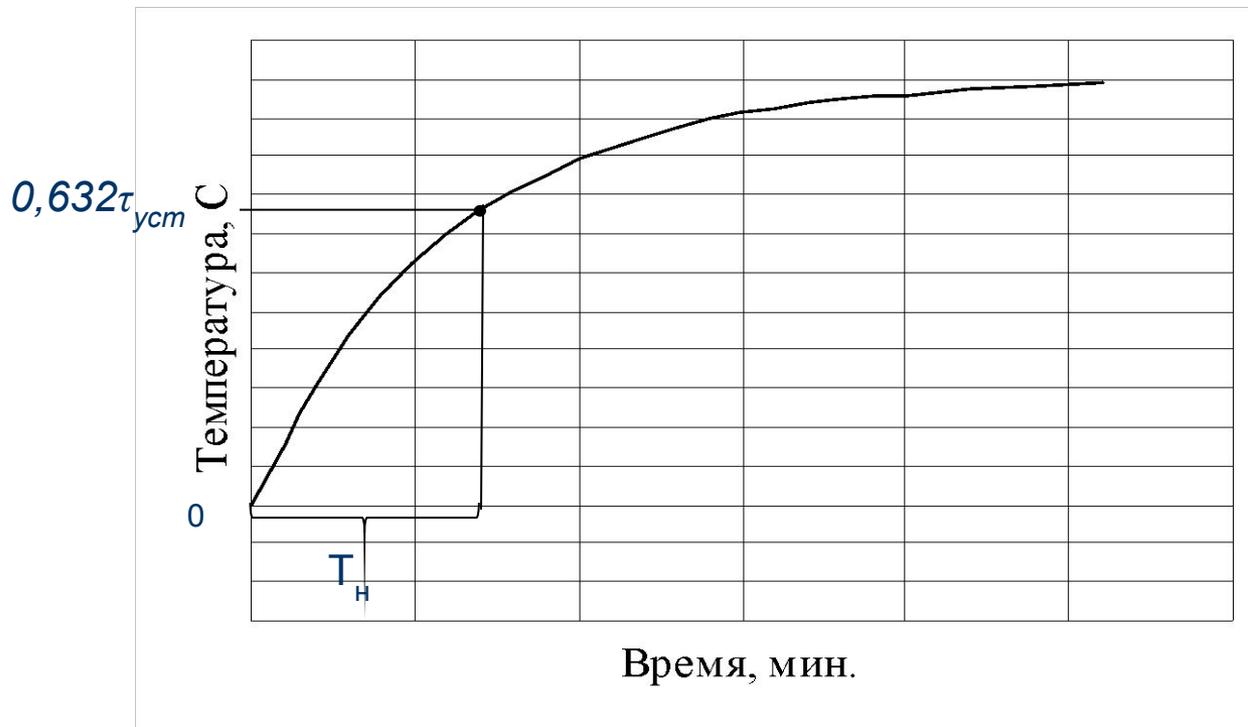
# Способы определения постоянной нагрева.

Постоянная времени нагрева может быть определена следующими методами:

- по значению  $T_{уст}$ ;
- по методу касательных;
- по методу трех температур.

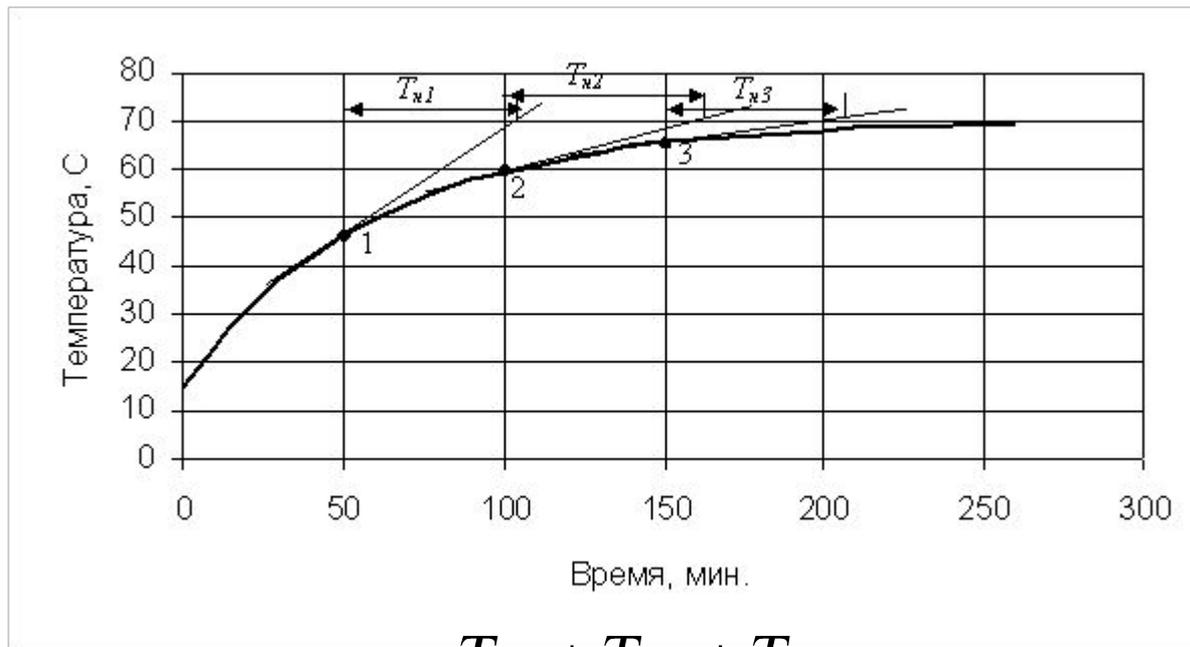
# Способы определения постоянной нагрева.

По значению  $\tau_{уст}$  При  $t = T_H$   $\tau = 0,632 \tau_{уст}$



# Способы определения постоянной нагрева.

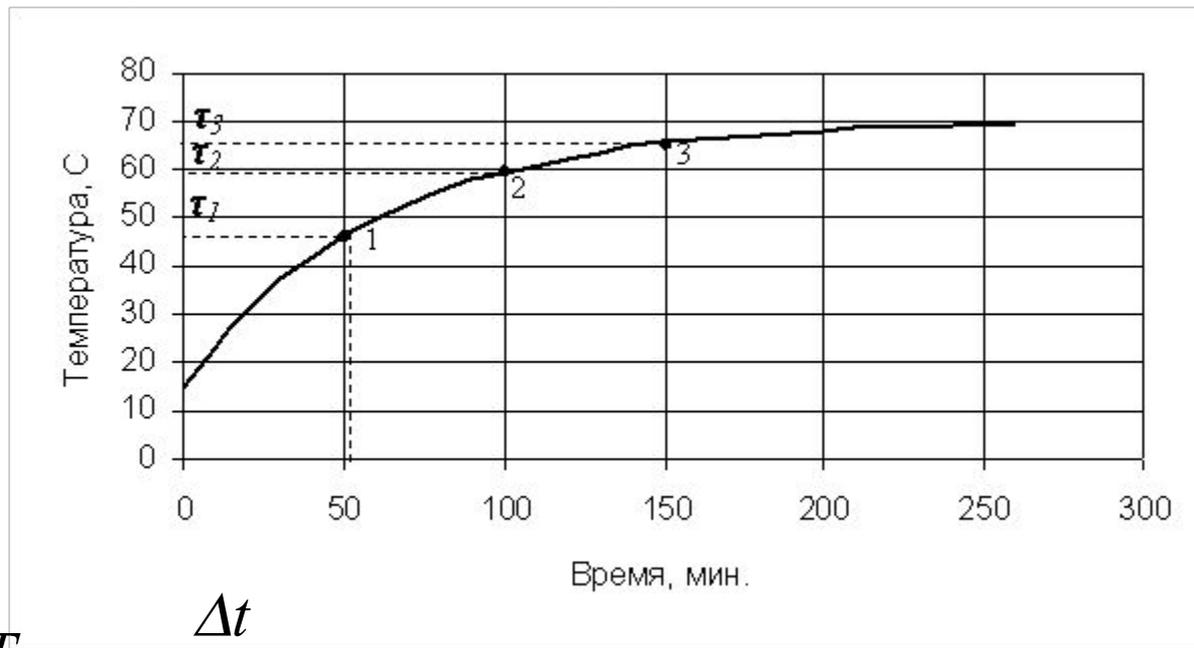
## По методу касательных.



$$T_n = \frac{T_{н1} + T_{н2} + T_{н3}}{3}.$$

# Способы определения постоянной нагрева.

## По методу трех температур.



$$T_n = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_3 - \tau_2}}.$$

# Способы определения постоянной нагрева.

Средняя постоянная времени нагрева в минутах может быть рассчитана по соотношению

$$T_n = 6 \frac{m \tau_n \eta_n}{P_n (1 - \eta_n)}.$$

Ухудшение теплоотдачи электродвигателя в неподвижном состоянии по отношению к теплоотдаче при вращении учитывают коэффициентом  $\beta_0$

$$\beta_0 = A_0 / A_n \Rightarrow T_0 = T_n / \beta_0.$$

# Способы определения постоянной нагрева.

Значение коэффициента  $\beta_0$  для электродвигателей различного исполнения составляет:

- закрытого с посторонней принудительной вентиляцией – 0,9...1;
- закрытого с наружным охлаждением от собственного вентилятора – 0,45...0,55;
- защищенного с самовентиляцией – 0,25...0,35.

# Факторы, определяющие мощность электродвигателей.

В номинальном режиме работы потери мощности  $\Delta P_n$  электродвигателя связаны с мощностью на валу  $P_n$  через КПД

$$\Delta P_n = P_n \cdot \frac{1 - \eta_n}{\eta_n (1 + \alpha)}, \quad \tau_{yn} = \Delta P_n / A_n \Rightarrow \Delta P_n = A_n \cdot \tau_{yn} \Rightarrow$$

$$P_n = A_n \cdot \tau_{yn} \cdot \eta_n \cdot (1 + \alpha) / (1 - \eta_n).$$

# Факторы, определяющие мощность электродвигателей.

Основные параметры, влияющие на мощность электродвигателя по нагреву:

- теплоотдача электродвигателя при нагрузке  $A_n$ ;
- нормированное (предельно допустимое) превышение температуры, зависящее от нагревостойкости изоляции электродвигателя;
- КПД электродвигателя.

# Факторы, определяющие мощность электродвигателей.

Для повышения мощности электродвигателя при сохранении его габаритов, а следовательно и расхода активных материалов необходимо:

- увеличивать теплоотдачу электродвигателя при нагрузке  $A_n$ ;
- повышать нормированное (предельно допустимое) превышение температуры, зависящее от нагревостойкости изоляции электродвигателя;
- Повышать КПД электродвигателя.

# Факторы, определяющие мощность электродвигателей.

Все изоляционные материалы, идущие на изготовление электрических машин, подразделяют на 5 классов нагревостойкости: А, Е, В, F, H.

Каждый класс изоляции характеризуется предельно допустимой температурой нагрева, до которой изоляция не теряет своих диэлектрических свойств.

# Факторы, определяющие мощность электродвигателей.

Номинальную нагрузку электродвигателя более рационально устанавливать по нормированному превышению температуры.

Если температура окружающей среды ниже  $40^{\circ}\text{C}$ , то нагрузку электродвигателя увеличивать не следует.

# Факторы, определяющие мощность электродвигателей.

Температурная характеристика классов изоляции

Класс изоляции	A	E	B	F	H	C
Предельно допустимая температура, °C	105	120	130	155	180	180
Предельно допустимое превышение температуры, °C	60	75	80	100	125	125

# Факторы, определяющие мощность электродвигателей.

Согласно известному правилу Монзингера превышение температуры обмотки статора над номинальным значением на каждые  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $13^{\circ}\text{C}$  соответственно для классов изоляции В и F сокращает срок службы изоляции в два раза.

$$\tau_n / \tau = 2^{\theta_d - \theta_n / 10}, \quad \tau_n / \tau = 2^{\theta_d - \theta_n / 13}.$$