

Лекція № 2
Тема № 2: Вибір потужності двигунів

1. НАГРЕВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Все виды потерь мощности в двигателе преобразуются в теплоту, которая частично отдается в окружающую среду, а частично идет на нагревание двигателя. Если условно считать, что нагрев происходит равномерно по всему объему двигателя, а теплота одинаково рассеивается по всей его поверхности, то уравнение теплового баланса

$$Qdt = G_{\text{дв}}cd\tau + S\lambda\tau dt, \quad (1)$$

где Qdt – количество теплоты, выделяемой в двигателе за время dt ;

$G_{\text{дв}}cd\tau$ – количество теплоты, расходуемой на нагревание двигателя;

$G_{\text{дв}}$ – масса двигателя;

c – удельная теплоемкость, определяющая количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1°C ;

τ – превышение температуры двигателя над температурой θ_1 окружающей среды;

$S\lambda\tau dt$ – количество теплоты, рассеиваемой с поверхности двигателя в окружающее пространство;

S – площадь поверхности двигателя, с которой рассеивается теплота;

λ – коэффициент теплового рассеяния, представляющий собой количество теплоты, рассеиваемой с единицы поверхности в 1 с при превышении температуры на 1°C . В начальный период работы двигатель имеет температуру, практически не отличающуюся от температуры окружающей среды, т. е. $\tau = 0$. В этом случае $S\lambda\tau dt \approx 0$ и вся теплота, выделяемая в двигателе, идет на повышение его температуры. По мере повышения температуры двигателя количество теплоты, рассеиваемое в окружающую среду, увеличивается. Когда превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды достигнет $\tau_{\text{уст}} = \theta_{\text{уст}} + \theta_1$, где $\theta_{\text{уст}}$ – установившаяся температура двигателя, то вся теплота, выделяющаяся в двигателе, будет рассеиваться в окружающую среду. При этом дальнейшее повышение температуры двигателя прекратится, $d\tau = 0$ и наступит **режим теплового равновесия**

$$Qdt = S\lambda\tau_{\text{уст}}dt. \quad (2)$$

Из (2) следует, что $\tau_{\text{уст}}$ не зависит от массы двигателя, а определяется количеством теплоты, выделяемой в двигателе в единицу времени, площадью охлаждения и коэффициентом теплового рассеяния λ .

Зависимость превышения температуры двигателя τ над температурой окружающей среды от времени t выражается равенством

$$\tau = \tau_{\text{уст}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}} \right), \quad (3)$$

где $e = 2,718$ – основание натуральных логарифмов;

T_n – постоянная времени нагревания.

Кривая нагревания $\tau = f(t)$, построенная в соответствии с (3), показывает, что электродвигатель достигает установившейся температуры только по истечении длительного времени (рис. 1). Проведя касательную к кривой нагревания $\tau = f(t)$, в ее начальной части получим отрезок, равный в масштабе температур постоянной нагревания T_n , представляющей собой время, за которое двигатель нагревается до температуры, равной

0,632 $\tau_{уст}$. Если прекратится нагревание двигателя, например, при отключении двигателя от сети, то уравнение теплового баланса запишем в виде

$$0 = G_{\text{дв}} c d\tau + S\lambda t dt ,$$

или

$$- G_{\text{дв}} c d\tau = S\lambda t dt , \quad (4)$$

т. е. излучение теплоты с поверхности двигателя происходит за счет накопленной в нем теплоты, поэтому двигатель начинает охлаждаться.

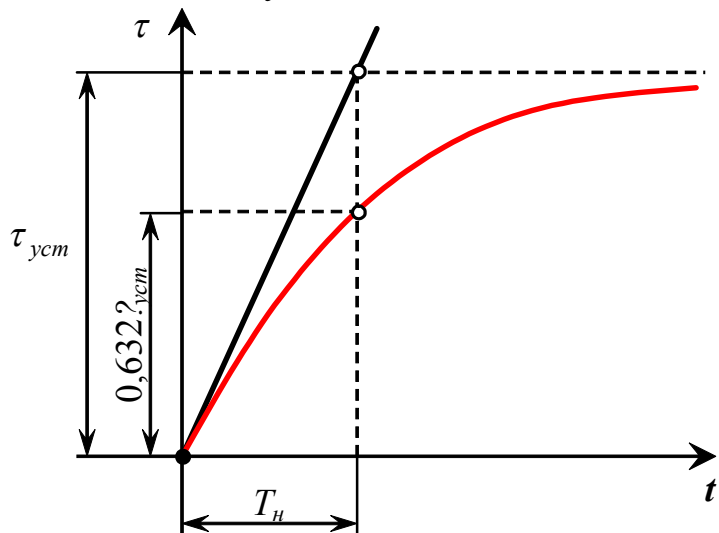


Рис. 1 График нагревания электродвигателя

Изменение температуры в процессе охлаждения двигателя происходит согласно

$$\tau = \tau_{уст} e^{-\frac{t}{T_n}} . \quad (5)$$

Наиболее чувствительна к перегреву электрическая изоляция обмоток двигателя. Под действием высоких температур происходит тепловое старение изоляции, которое сопровождается ухудшением ее изоляционных и механических свойств.

Электроизоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, **разделяются на шесть классов нагревостойкости**. Ниже приведены классы нагревостойкости и соответствующие им допустимые предельные температуры нагрева, при которых изоляция надежно работает длительное время (табл. 1).

Таблица 1.

Класс нагревостойкости изоляции	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>B</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>C</i>
Предельно допустимая температура, °C	105	120	130	155	180	более 180

Практическое применение в двигателях современных серий имеет изоляция классов ***B*, *F* и *H***.

Класс нагревостойкости *A*. В него входят хлопчатобумажные ткани, пряжа, бумага и волокнистые материалы из целлюлозы и шелка, пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал. Предельно допустимая температура 105° C.

Класс нагревостойкости *E*. Некоторые синтетические органические пленки, а также соответствующие данному классу другие материалы. Предельно допустимая температура 120° C.

Класс нагревостойкости *B*. Он включает материалы из слюды, асбеста и стекловолокна, содержащие органические связующие вещества. Предельно допустимая температура 130° C.

Класс нагревостойкости *F*. Те же материалы, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами. Предельно допустимая температура 155° C.

Класс нагревостойкости *H*. Те же материалы, но в сочетании с кремнеорганическими связующими и пропитывающими составами. Предельно допустимая температура 180° C.

Класс изоляции С. Слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими связующими составами. Предельно допустимая температура более 180° С и ограничивается физическими, химическими или электрическими свойствами материала.

Превышение указанных температур недопустимо, так как это ведет к разрушению изоляции и сокращению срока службы двигателей.

Сильный перегрев двигателя может отрицательно повлиять и на другие его части (коллектор, подшипники и т. д.). Установлены предельно допустимые превышения температуры различных частей электрических машин (см. ГОСТ 183–74), *при этом за температуру окружающей среды принимается температура 40°С*. Исходя из этого, температура нагрева какой-либо части двигателя при известной температуре перегрева

$$Q_{уст} = \tau_{уст} + 40. \quad (6)$$

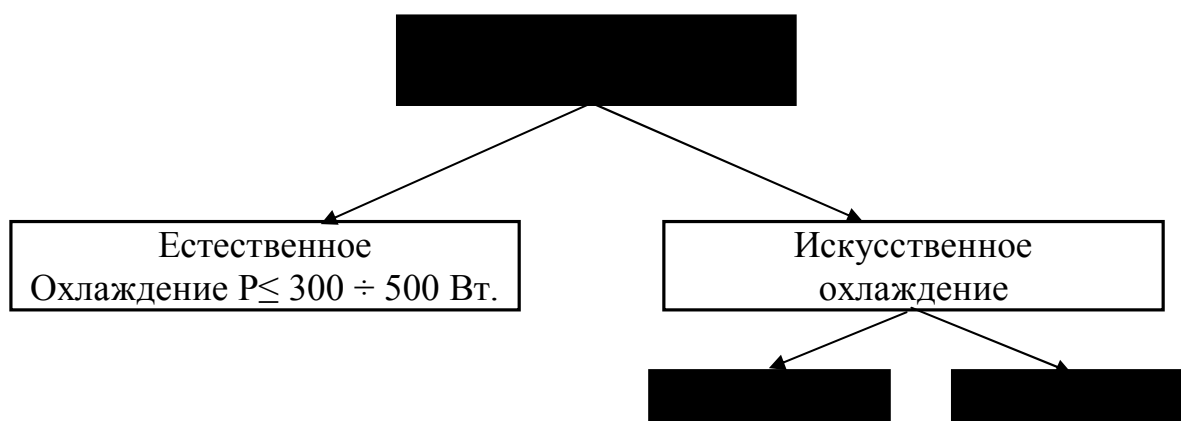


Рис. 2. Разделение электродвигателей по способу охлаждения

По способу охлаждения электродвигатели разделяют на двигатели с естественным охлаждением и двигатели с искусственным охлаждением, рис. 2 .

Двигатели с *естественным охлаждением* не имеют вентиляторов или каких-либо других устройств, способствующих интенсивному охлаждению. С естественным охлаждением обычно изготавливают двигатели мощностью не более 300 – 500 Вт. В электродвигателях с *искусственным охлаждением* на валу расположен центробежный вентилятор. В процессе работы двигателя вентилятор вращается и создает движение воздуха, охлаждающего нагретые части двигателя. **Вентиляция бывает** (Рис. 2) наружной, когда охлаждающий воздух обдувает наружную поверхность двигателя, и внутренней, когда охлаждающий воздух проходит через внутреннюю полость машины.

2. НОМИНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

Согласно ГОСТ 183–74 существует три основных номинальных режима работы двигателя, различающихся характером изменения нагрузки:

- 1) **продолжительный номинальный режим** – режим работы при неизменной номинальной нагрузке $P_{ном}$, продолжающейся столько времени, что температура нагрева всех частей машины достигает установившихся значений. Нагрузочная диаграмма продолжительного номинального режима показана на рис. 3, а. *Условное обозначение режима S1*;
- 2) **кратковременный номинальный режим** – режим работы, при котором периоды неизменной номинальной нагрузки чередуются с периодами отключения двигателя. При этом периоды нагрузки двигателя t_n настолько кратковременны, что температуры всех

частей двигателя не достигают установившихся значений, а периоды отключения двигателя настолько продолжительны, что все части двигателя успевают охладиться до температуры окружающей среды (рис. 3,б). *Условное обозначение режима S2;*

3) **повторно-кратковременный номинальный режим** – режим работы, при котором кратковременные периоды номинальной нагрузки двигателя t_n чередуются с периодами отключения двигателя (паузами) t_n , причем за период нагрузки превышение температуры всех частей не успевает достигнуть установившихся значений, а за время паузы части двигателя не успевают охладиться до температуры окружающей среды. Общее время работы двигателя в повторно-кратковременном режиме разделяется на периодически повторяющиеся циклы $t_u = t_n + t_n$ Условное обозначение режима S3. При повторно-кратковременном режиме работы двигателя график его нагревания имеет вид пилообразной кривой (рис. 3, в). При достижении двигателем установившихся значений температуры соответствующих повторно-кратковременному режиму $\tau_{уст-к}$, температура перегрева двигателя продолжает колебаться от τ_{min} до τ_{max} , при этом она меньше установившейся температуры перегрева при номинальном продолжительном режиме работы $\tau_{уст}$.

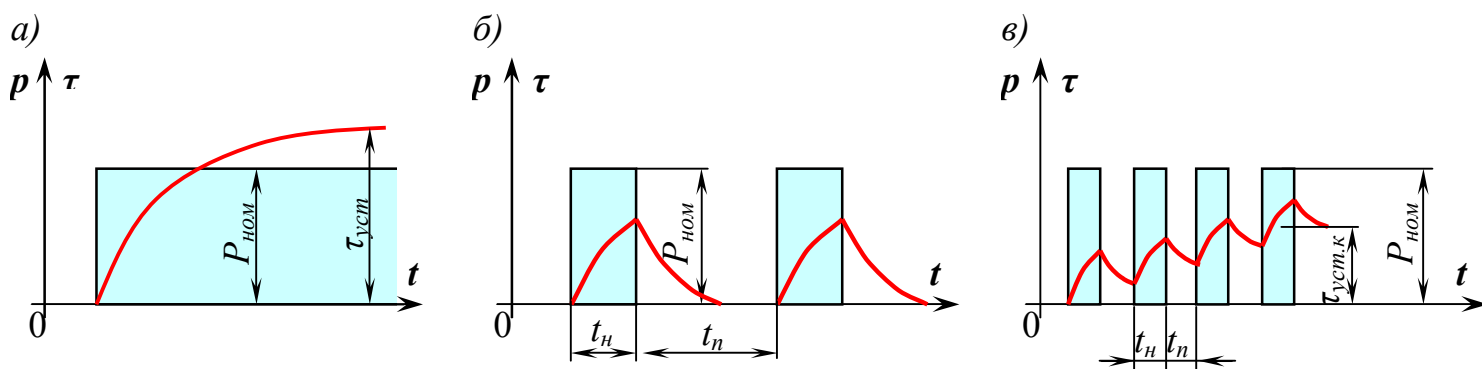


Рис. 3 Нагрузочные диаграммы электродвигателей при продолжительном (а), кратковременном (б), и повторно-кратковременном номинальных режимах (в)

Повторно-кратковременный режим характеризуется относительной продолжительностью включения, %:

$$ПВ = \left(\frac{t_n}{t_u} \right) \cdot 100. \quad (7)$$

Согласно ГОСТ 183–74 предусмотрены номинальные повторно-кратковременные режимы с ПВ 15, 25, 40, 60%. Для продолжительного режима ПВ – 100%.

Так как при номинальных кратковременном и повторно-кратковременном режимах температура перегрева двигателя ниже, чем при номинальном продолжительном режиме, то **при переводе двигателя из продолжительного в повторно-кратковременный режим работы полезная мощность двигателя может быть увеличена** при ПВ = 60% на 30%, при ПВ = 40% на 60%, при ПВ = 25% в два раза, при ПВ = 15% в 2,6 раза.

Кроме рассмотренных трех номинальных режимов имеется еще шесть повторно-кратковременных и перемежающихся режимов.

Розробив:

доцент кафедри автомобільної електроніки

д.т.н., с.н.с.

А.В. Гнатов

старший викладач кафедри автомобільної електроніки

к.т.н.

Щ.В. Аргун