

Лекція № 3
Тема № 2: Вибір потужності двигунів

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Выбор двигателя к электроприводу состоит в определении типа двигателя и его номинальных данных; мощности, номинальных значений напряжения и частоты вращения, перегрузочной способности и т. п. *Правильный выбор приводного двигателя* обеспечивает электроприводу продолжительную надежную работу во всех заданных режимах. *Выбор двигателя связан с удовлетворением ряда требований*, определяемых параметрами питающей сети, способом монтажа двигателя, внешними условиями его эксплуатации, режимом работы электропривода.

Параметры питающей сети определяют выбор типа двигателя (постоянного или переменного тока, однофазный или трехфазный) и его номинальное напряжение.

Способ монтажа и внешние условия эксплуатации определяют конструкцию двигателя (двигатель на лапах или фланцевого крепления, закрытого или защищенного исполнения) и его климатическое исполнение (для умеренного, холодного, тропического климата и т. п.).

Режим работы электропривода определяет требования к динамическим и статическим свойствам двигателя. Требования к динамическим свойствам двигателя зависят от частоты пуска и торможения, характера приложения и снятия нагрузки к двигателю. **Например**, при частых пусках и торможении требуется двигатель с малым моментом инерции ротора (якоря), т. е. обладающий небольшим маховым моментом GD^2 , где G – соответственно масса ротор (якоря) и его наружный диаметр.

Статические свойства двигателя оцениваются механической характеристикой, т. е. зависимостью частоты вращения n от электромагнитного момента M или тока якоря I_a . **В зависимости от вида механической характеристики все электродвигатели разделяют на три группы:**

1) *электродвигатели с абсолютной жесткой механической характеристикой*, имеющей вид прямой, параллельной оси абсцисс (рис. 1, а, график 1). Такой механической характеристикой обладают синхронные двигатели, у которых частота вращения во всем диапазоне допустимых нагрузочных моментов остается постоянной;

2) *электродвигатели с жесткой механической характеристикой*, у которых увеличение нагрузочного момента на валу сопровождается незначительным уменьшением частоты вращения. Такую характеристику имеют асинхронные двигатели общего назначения (рис. 1, а, график 2) и двигатели постоянного тока независимого (параллельного) возбуждения (рис. 1, б, график 1);

3) *электродвигатели с мягкой механической характеристикой*, у которых с ростом нагрузки частота вращения уменьшается в значительной степени. Такой характеристикой обладают асинхронные двигатели с повышенным активным сопротивлением в цепи обмотки ротора. **Например**, асинхронные исполнительные двигатели (рис. 1, а, график 3), двигатели постоянного тока последовательного возбуждения (рис. 1, б, график 2) и параллельного возбуждения с добавочным резистором в цепи якоря (рис. 1, б, график 3).

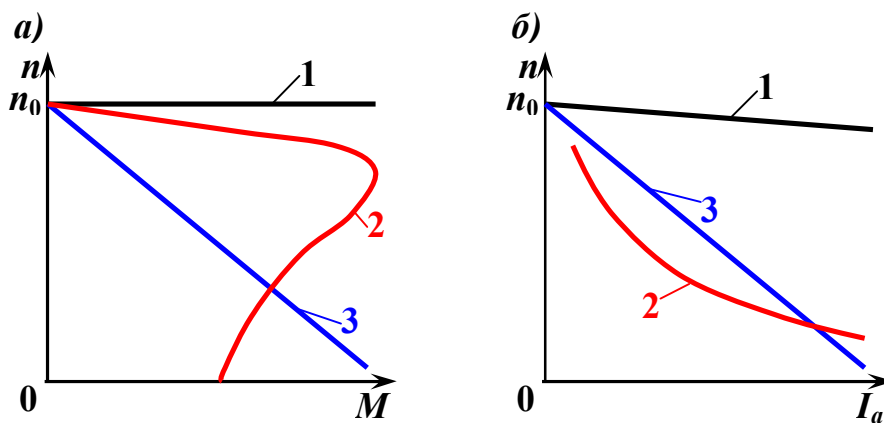


Рис. 1 Механические характеристики асинхронного и синхронного двигателей (а) и электромеханические характеристики двигателей постоянного тока (б)

Выбор типа двигателя следует начинать с рассмотрения вопроса о возможности использования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, так как эти двигатели наиболее просты по устройству, надежны, имеют высокие энергетические показатели. Недостатки этих двигателей: небольшой пусковой момент и большой пусковой ток, который в $5\div 7$ раз превышает номинальное значение рабочего тока.

В электроприводе большой мощности оправдывается применение трехфазных синхронных двигателей, имеющих наиболее высокие энергетические показатели (КПД и коэффициент мощности). При необходимости регулирования частоты вращения следует рассмотреть вопрос о целесообразности применения в электроприводе трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором совместно с регулируемым преобразователем частоты, трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором или двигателя постоянного тока независимого возбуждения. **Основные недостатки двигателей постоянного тока:** необходимость в источнике постоянного тока, повышенная стоимость, необходимость в систематическом уходе в процессе эксплуатации, пониженная надежность из-за частых неполадок в щеточно-коллекторном узле, невозможность установки во взрыво- и пожароопасных средах, помехи радиоприему, для подавления которых приходится применять специальные меры. Однако двигатели постоянного тока превосходят асинхронные двигатели с коротко-замкнутым ротором по регулировочным и пусковым свойствам.

2. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ

При выборе двигателя по мощности следует стремиться, чтобы номинальная мощность двигателя была достаточно близка к требуемой мощности. Выбор двигателя с номинальной мощностью, намного превышающей требуемую, приводит к тому, что двигатель в течение всего периода эксплуатации работает недогруженным, а следовательно, с низкими значениями КПД и коэффициента мощности, что ведет к неоправданным эксплуатационным расходам, при этом возрастают габаритные размеры, масса и стоимость электропривода. Определяя требуемую номинальную мощность приводного двигателя, сначала вычисляют его расчетную мощность $P_{расч}$. Методика определения $P_{расч}$ зависит от режима работы электропривода.

Если режим работы электропривода продолжительный с постоянным нагрузочным моментом, то расчетная мощность приводного двигателя, кВт:

$$P_{\text{расч}} = M_c \omega \cdot 10^{-3} = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot M_c n_2 \quad (1)$$

где M_c – статический момент, Н·м;

n_2 – частота вращения вала двигателя, об/мин.

По каталогу на электродвигатели принятого принципа действия с учетом напряжения и частоты вращения выбирают двигатель с номинальной мощностью, на 10 ÷ 20% превышающей расчетную, т. е. $P_{\text{ном}} = (1,1 \div 1,2)P_{\text{расч}}$.

Если режим работы электропривода повторно-кратковременный, то расчетная мощность двигателя $P_{\text{расч}}$ выбирается в зависимости от относительной продолжительности, как показано ниже:

ПВ, %	15	25	40	60
$P'_{\text{расч}}$	0,4 $P_{\text{расч}}$	0,5 $P_{\text{расч}}$	0,62 $P_{\text{расч}}$	0,77 $P_{\text{расч}}$

Здесь $P_{\text{расч}}$ – расчетная мощность двигателя для продолжительного режима работы (1). По расчетному значению мощности $P'_{\text{расч}}$ выбирают двигатель, номинальная мощность которого превышает расчетную на 10–20%. Выбранный тип двигателя следует проверить на перегрузочную способность и на величину начального пускового момента (см. § 3.5).

Минимально допустимое значение перегрузочной способности двигателя $\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} \geq 1,5$ (если по условиям работы электропривода не требуется еще большее значение перегрузочной способности).

В табл. 1 приведены значения коэффициентов мгновенной перегрузки двигателей.

Кратковременная перегрузка двигателей постоянного тока определяется условиями коммутации на коллекторе, а асинхронных и синхронных двигателей – их максимальным электромагнитным моментом.

Таблица 1

Тип двигателя	Коэффициент перегрузки по моменту
Двигатели постоянного тока	2 (для специальных типов до 3 – 4)
Асинхронные двигатели с контактными кольцами	2 – 2,5
Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором нормального исполнения	1,7 – 2,5
Короткозамкнутые двигатели с двойной клеткой или с глубоким пазом	1,7 – 2,6
Синхронные двигатели	2 – 2,5 (для специальных типов до 3 – 4)
Коллекторные двигатели переменного тока	2 – 2,5

Если режим работы электропривода продолжительный с переменной нагрузкой, то нагрузка на валу двигателя переменна, т. е. статический момент электропривода меняется во времени. При этом в приводном двигателе имеет место неустановившийся тепловой процесс (рис. 2), так как в различные отрезки времени t_1, t_2, t_3, \dots потери мощности неодинаковы. График нагревания двигателя $\tau = f(t)$, в этом режиме имеет вид ломаной кривой линии.

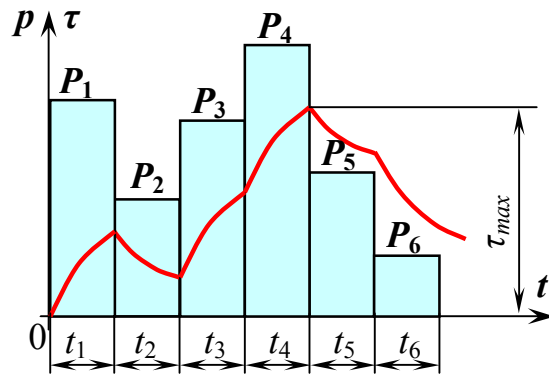


Рис. 2 График переменной нагрузки электродвигателя

Для определения требуемой номинальной мощности приводного двигателя в этом режиме поступают следующим образом. Сначала определяют предварительное расчетное значение мощности двигателя, кВт,

$$P'_{расч} = \frac{(P_1 + P_2 + \dots)}{n_1}, \quad (2)$$

где P_1, P_2, \dots – мощности на валу двигателя в различные отрезки времени, кВт;

n_1 – количество отрезков времени, соответствующих различной мощности на валу двигателя.

По полученному значению $P_{расч}$, предварительно выбирают приводной двигатель, номинальная мощность которого на 10–20% превышает $P_{расч}$, т. е. $P'_{ном} = (1,1 \div 1,2) P_{расч}$. Затем, пользуясь техническими данными выбранного типа двигателя, определяют уточненное значение расчетной мощности $P_{расч}$. Для этого используют *метод эквивалентного тока*, основанный на том, что электрические потери двигателя пропорциональны квадрату тока нагрузки, т.е. $\sum P_{пер} = c_p I^2$, где c_p – коэффициент пропорциональности между током нагрузки двигателя и мощностью переменных потерь. Воспользовавшись графиком переменной нагрузки двигателя (рис. 2), запишем формулу для расчета суммарных потерь энергии за все время работы электропривода:

$$\sum W_{пер} = (\sum P_{пост} + c_p I_1^2) t_1 + (\sum P_{пост} + c_p I_2^2) t_2 + (\sum P_{пост} + c_p I_3^2) t_3 + \dots + (\sum P_{пост} + c_p I_n^2) t_n; \quad (3)$$

где $\sum P_{пост}$ – суммарные потери двигателя, равные сумме магнитных и механических потерь; I_1, I_2, I_3, \dots – токи, потребляемые двигателем в отрезки времени t_1, t_2, t_3, \dots , – соответственно.

Если бы приводной двигатель работал в течение времени t с постоянной нагрузкой, то потери энергии в нем:

$$\sum W_{пост} = (\sum P_{пост} + c_p I_{эkv}^2) t; \quad (4)$$

где $I_{эkv}$ – эквивалентный ток двигателя, работая с которым при постоянной нагрузке двигатель за время t нагревается до такой же температуры, как и при работе с переменной нагрузкой за то же время.

Таким образом, потери энергии в двигателе при работе с продолжительной переменной нагрузкой согласно графику нагрузки за время t равны потерям энергии этого же двигателя, работающего с постоянной нагрузкой и током $I_{эkv}$, т. е. $\sum W_{пер} = \sum W_{пост}$. Используя (3) и (4), после соответствующих преобразований получим выражение для эквивалентного тока, A ,

$$I_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + \dots + I_n^2 t_n}{t}}. \quad (5)$$

Ток $I_{\text{ЭКВ}}$ не должен превышать номинальный ток предварительно выбранного двигателя ($I_{\text{ЭКВ}} \leq I_{\text{НОМ}}$). Если это условие не выполняется, то следует выбрать тип двигателя с большей номинальной мощностью.

Метод эквивалентного тока при определении номинальной мощности приводного двигателя предполагает постоянство магнитных и механических потерь $\sum P_{\text{пост}} = \text{const}$. Если же двигатель работает при изменяющихся магнитных и механических потерях, то метод дает значительную ошибку. Это относится, например, к двигателям с последовательным возбуждением, в которых изменение тока якоря сопровождается изменением магнитного потока, а следовательно, и величины магнитных потерь.

Выборный по каталогу двигатель следует проверить на перегрузочную способность, т. е. убедиться, что наибольший нагрузочный момент, определяемый нагрузочной диаграммой (рис. 2), не нарушит устойчивой работы двигателя. При этом необходимо учесть возможные понижения напряжения в питающей сети. Двигатель также нужно проверить по величине начального пускового момента с учетом как статического нагрузочного момента, так и динамического момента.

Подробнее расчет мощности и выбор приводных электродвигателей приведены в: Робоча програма та методичні вказівки „СПЕЦ. ПИТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА АТЗ”.

При выборе приводного электродвигателя следует иметь в виду способ монтажа и исполнение двигателя по виду защиты: горизонтальное или вертикальное расположение вала, монтаж двигателя на лапах или посредством фланца на переднем подшипниковом щите, закрытое или защищенное исполнение или же двигатель взрывозащищенного исполнения.

При выборе асинхронных двигателей следует воспользоваться каталогом на трехфазные асинхронные двигатели серии 4А, а при выборе двигателя постоянного тока – каталогом на машины постоянного тока серии 2П. Двигатели указанных серий являются наиболее совершенными по своим технико-экономическим показателям и широко применяются во всех отраслях народного хозяйства. Если же двигатели указанных серий не удовлетворяют предъявляемым требованиям, то следует выбрать двигатель какой-либо серии специального применения.

Контрольные вопросы

1. Что называют электроприводом и из каких элементов он состоит?
2. Каково действие динамического момента на работу электропривода?
3. Как рассчитать необходимую мощность двигателя при различных режимах его работы?

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

