

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Проверка номинальной мощности электродвигателя по нагреву и определение постоянной времени нагрева

Цель работы: Исследование процесса нагрева электродвигателя при постоянной нагрузке и определение основных параметров нагрева опытным путем.

Программа работы

1. Ознакомиться с электрооборудованием лабораторного стенда. Изучить его устройство и принцип работы, записать паспортные данные приборов и исследуемого электродвигателя.
2. Собрать схему для проведения опыта. Выполнить соединение аппаратуры в соответствии со схемой соединения, приведенной на рис. 4.2.
3. Снять зависимость превышения температуры электродвигателя от времени при постоянной нагрузке опытным путем.
4. Построить кривую нагрева по опытным данным.
5. Определить установившееся значение превышения температуры двигателя.
6. Определить постоянную времени нагрева тремя методами.
7. Определить номинальную мощность электродвигателя.
8. Построить кривую нагрева по данным аналитических расчетов при той же нагрузке.
9. Пересчитать мощность двигателя на работу при температуре окружающей среды, не равной расчетной.

Основные теоретические положения

При всяком преобразовании одного вида энергии в другой часть потребляемой энергии теряется и преобразуется в тепловую. Разность между потребляемой мощностью и отдаваемой называют потерями и для удобства при сравнении с мощностью машины оценивают в единицах мощности (Вт или кВт). Потери в электродвигателях в зависимости от вызывающих их физических процессов подразделяют на электрические, магнитные, механические, вентиляционные и добавочные. Потери энергии в двигателе вызывает нагрев отдельных его частей. Особенностью электрических машин является тесное конструктивное сочетание металлов и изоляции, т.е. материалов, имеющих резко различные тепловые характеристики. В то время как металлы сохраняют свои рабочие свойства при температурах до 400... 500 °С и выше, верхний предел допустимого нагрева изоляционных материалов, применяемых в электромашиностроении, в зависимости от класса их нагревостойкости составляет 90... 180 °С. Изоляционные материалы, применяемые в электрических машинах согласно ГОСТ 8865-70, делятся на шесть

основные классов нагревостойкости. Чем больше нагревостойкость изоляционных материалов, тем меньше размеры двигателя при одинаковой мощности, или больше мощность при тех же его размерах. Лучшему использованию двигателя способствует так же более совершенная система его охлаждения.

Превышение температуры двигателя зависит от нагрузки, так как с увеличением нагрузки возрастают потери в двигателе. Температура среды влияет на величину допустимой нагрузки двигателя. Чем выше температура окружающей среды, тем ниже допустимое превышение температуры, а следовательно, и допустимая нагрузка двигателя. За расчетную принята температура окружающей среды $+40^{\circ}\text{C}$. Указываемая в паспорте двигателя номинальная мощность, соответствует этой температуре.

О тепловых свойствах двигателя можно судить по кривой нагрева, представляющей собой зависимость изменения превышения температуры двигателя от времени. Аналитическая зависимость превышения температуры двигателя от времени выражается формулой:

$$\tau = \tau_{уст} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_H}} \right) + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_H}}, \quad (4.1)$$

где: τ - превышение температуры, град;

$\tau_{уст}$ - установившееся превышение температуры, град;

τ_0 - начальное превышение температуры, град;

t - время нагрева, с;

T_H - постоянная времени нагрева, с.

Если перед включением двигателя в работу его температура была равной температуре окружающей среды, то начальное превышение температуры $\tau_0=0$.

На рис 4.1 показаны кривые нагрева при $\tau_0=0$ (кривая 1) и при $\tau_0 \neq 0$ (кривая 2). После включения двигателя в работу с постоянной нагрузкой его температура растет и через определенное время наступает тепловое равновесие, когда превышение температуры достигает своего установившегося значения (строго говоря, это время равно бесконечности, но для практических расчетов его принимают конечным).

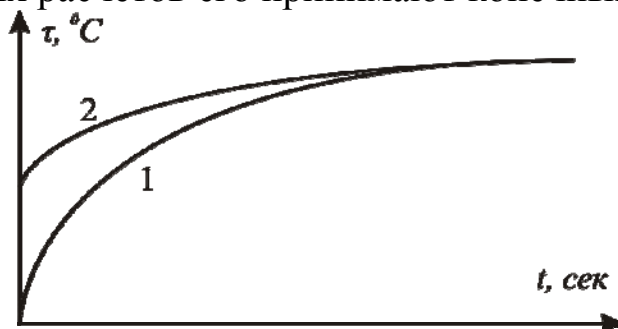


Рис. 4.1 Кривые нагрева превышения температуры двигателя

Величина, характеризующая скорость процесса нагревания, называется постоянной времени нагрева - T_n . Принято считать, что двигатель достигает своей установившейся температуры по истечении 4...5 постоянный времени нагрева.

Для определения ориентировочного значения постоянной времени нагрева можно использовать паспортные данные двигателя.

Из паспорта двигателя и каталогов известны :

P_n номинальная (паспортная) мощность двигателя, Вт;

η_n номинальный КПД двигателя;

m масса двигателя, кг;

τ_n номинальная превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$;

$$\tau_n = \theta_o - \theta_o \quad , \quad (4.2)$$

где: θ_o – допустимая температура изоляции двигателя в зависимости от класса их нагревостойкости, $^{\circ}\text{C}$;

θ_o – расчетная температура окружающей среды $+40^{\circ}\text{C}$.

Постоянную времени нагрева для электродвигателя находят по выражению:

$$T_n = \frac{C}{A} \quad , \quad (4.3)$$

где: C – теплоемкость двигателя, Дж/ $^{\circ}\text{C}$;

$$C = c_o \cdot m \quad , \quad (4.4)$$

где c_o –удельная теплоемкость, обычно принимается по стали ($c_o=500$, Дж/(кг $^{\circ}\text{C}$);

A – теплоотдача двигателя, Дж/ $^{\circ}\text{C}$

$$A = \frac{\Delta P_n}{\tau_n} \quad , \quad (4.5)$$

где: ΔP_n – номинальные потери мощности двигателя, Вт

$$\Delta P_n = P_n \frac{1-\eta_n}{\eta_n} \quad , \quad (4.6)$$

Более точно постоянную времени нагрева определяют одним из экспериментальных методов. При их использовании проводится опыт нагрева двигателя при постоянной нагрузке и определяется установившееся превышение температуры.

1. Метод определения установившегося превышения температуры ($\tau_{уст}$).

1.1. По данным опыта нагрева, строится график $\tau=f(t)$, который имеет свойства экспоненциальной кривой.

1.2. На оси абсцисс произвольном участке откладываются два одинаковых отрезка времени Δt (рис. 4.2). Достоверность определения $\tau_{уст}$ будет тем выше, чем большими на опытной кривой $\tau=f(t)$ будут приняты отрезки времени Δt .

1.3. На границах этих отрезков проводятся вертикали до пересечения с кривой нагрева. Через полученные точки 1, 2 и 3 проводятся горизонтальные линии, между которыми заключены приращения температуры $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ соответствующие приращениям времени.

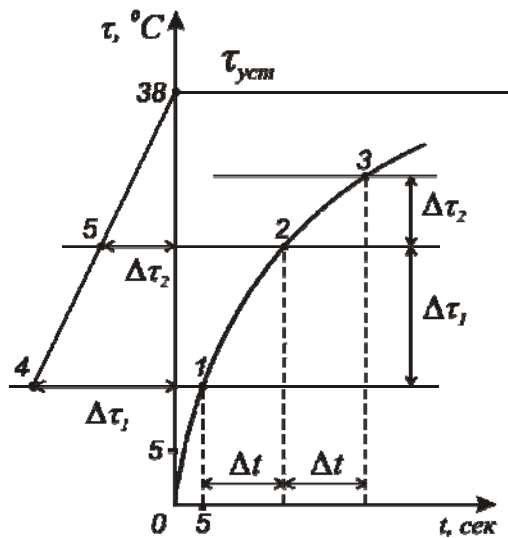


Рис 4.2 Определение установившегося превышения температуры двигателя

1.4. На горизонтальной линии с точкой 1 влево (или вправо) от оси ординат откладывается в том же масштабе отрезок $\Delta\tau_1$ и получают точку 4. Аналогично, на горизонтальной линии с точкой 2 откладывается отрезок $\Delta\tau_2$ и получают точку 5. Через полученные точки 4 и 5 проводится наклонная прямая до пересечения с осью ординат. Точка пересечения этой прямой с осью ординат определяет величину установившегося превышения температуры $\tau_{уст}$. На рисунке 4.2 значение установившегося превышения температуры $\tau_{уст} = 38 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2. Определение постоянной времени нагрева (T_n) **методом начального нагрева**. Если нагрев двигателя начинается при условии $\tau_{нач}=0$, то он

происходит в соответствии с уравнением ($\tau = \tau_{нач} e^{-\frac{t}{T_n}}$) и по истечении времени $t=T_n$ превышение температуры достигает $0,632\tau_{уст}$.

2.1. Определив в соответствии с п.1.1 – 1.4 установившегося превышение температуры ($\tau_{уст}$) строим на оси ординат точку 6 ($\tau = 0,632\tau_{уст}$). На рисунке 4.3 значение точки 6 равно $24 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($\tau = 0,632 \cdot \tau_{уст} = 0,632 \cdot 38 = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$).

2.2. Из полученной точки 6 проецируем на опытную кривую нагрева $\tau=f(t)$ в точку 7. Из точки 7 спускаем проекцию на ось абсцисс в точку 8. Отрезок заключенный между началом координат и точкой 8 на оси абсцисс и есть **постоянная времени нагрева** (T_n). На рисунке 4.3 значение постоянной времени нагрева равно $T_n = 20,6$ мин.

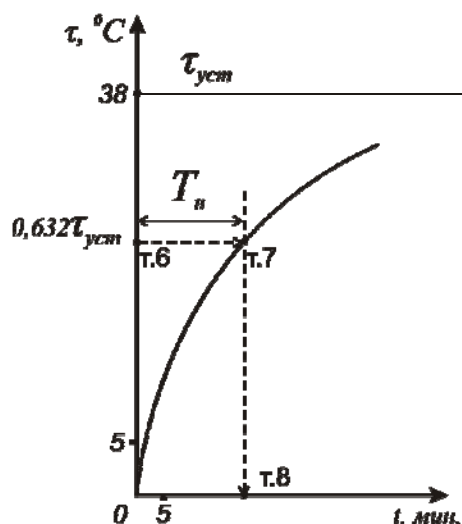


Рис 4.3 Определение постоянной времени нагрева методом начального нагрева

Аналогично по графику кривой охлаждения можно определить постоянную времени охлаждения. Для этого на оси ординат следует отложить величину $0,368\tau_{уст}$, провести горизонтальную линию до пересечения с кривой охлаждения и точку пересечения спроецировать на ось абсцисс. Отрезок на оси времени от нуля до проекции точки пересечения дает искомую величину постоянной времени охлаждения T_o (рис. 4.4).

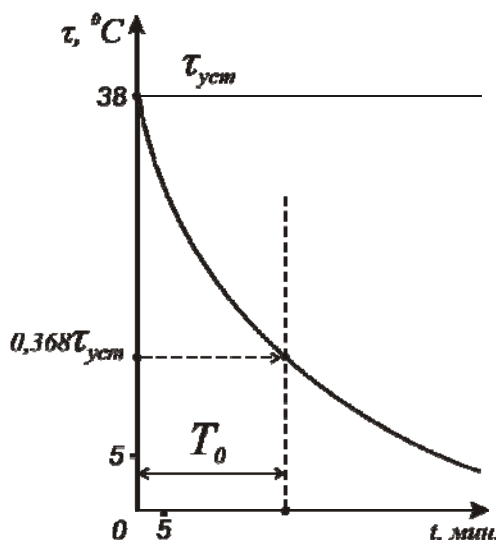


Рис 4.4 Определение постоянной времени охлаждения методом начального нагрева

3. Метод касательных. Метод касательных основан на том свойстве экспоненты, что в любой точке кривой величина отрезка на оси абсцисс, заключенная между проекцией точки касания и проекцией точки пересечения касательной с линией $\tau_{уст}$ на эту ось и есть постоянная времени нагрева ($t_2 - t_1 = T_n$). На рисунке 4.5 значение постоянной времени нагрева равно $T_n = 20,6$ мин.

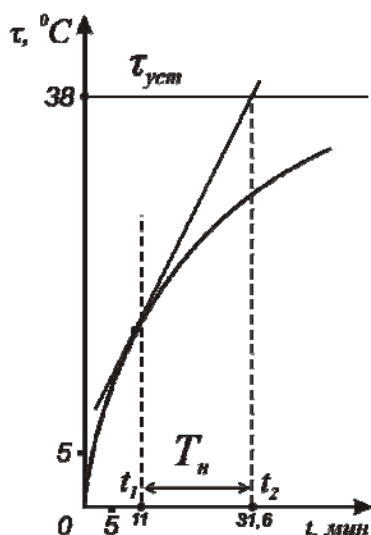


Рис 4.5 Определение постоянной времени охлаждения методом касательных

4. Метод трех точек. Определение постоянной времени нагрева этим методом не требует проведения вспомогательных построений для нахождения установившегося превышения температуры.

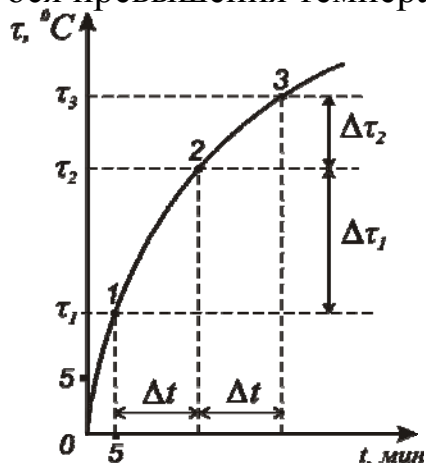


Рис 4.6 Определение постоянной времени охлаждения методом трех точек

Решая полученное выражение относительно постоянной времени, получим

$$T = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_3 - \tau_2}} = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\Delta \tau_1}{\Delta \tau_2}}, \quad (4.7)$$

Для определения постоянной времени охлаждения (T_o) достаточно по кривой охлаждения определить температуру в двух точках, тогда:

$$T_o = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\tau_1}{\tau_2}}, \quad (4.8)$$

где Δt – приращение времени между точками на опытной кривой охлаждения с температурами τ_1 и τ_2 .

Полученные данные в результате опыта используются для проверки

и выбора мощности электродвигателя к рабочей машине.

Величина установившегося превышения $\tau_{уст}$ зависит от количества тепла Q , выделяемого в двигателе и коэффициента теплоотдачи A .

$$\tau_{уст.} = \frac{Q}{A}, \quad (4.9)$$

Если пренебречь постоянными потерями, можно считать, что Q пропорционально квадрату нагрузки P . Следовательно:

$$\frac{\tau_{уст.н.}}{\tau_{уст.}} = \frac{P_H^2}{P^2}, \quad (4.10)$$

где: $\tau_{уст.н.}$ - установившееся номинальное значение превышения температуры при номинальной нагрузке, $С^0$;

$\tau_{уст}$ - установившееся превышение температуры при нагрузке (P , Вт), $С^0$;

P_H - номинальная мощность двигателя, Вт;

P - мощность нагрузки при опыте, Вт.

$$P = U \cdot I + P_{xx}, \quad (4.11)$$

где: U и I напряжение (B) и ток (A) нагрузки из таблицы 4.2;

P_{xx} - потери холостого хода агрегата генератор-двигатель, Вт.

Из формулы (4.10) следует:

$$P_H = P \cdot \sqrt{\frac{\tau_{уст.н.}}{\tau_{уст}}}, \quad (4.12)$$

Если температура окружающей среды Θ отличается от расчетной ($+40^0 C$), то допустимая нагрузка двигателя также отличается от паспортной. Для пересчета мощности при температуре окружающей среды отличной от расчетной можно воспользоваться формулой:

$$P_x = P_H \sqrt{1 + \frac{\Delta\tau}{\tau_{ном}}(1 + \alpha)}, \quad (4.9)$$

где $\Delta\tau = 40^0 - \Theta_0$ - разность между расчетной и фактической температурой окружающей среды;

P_x - мощность двигателя при температуре окружающей среды отличной от расчетной;

P_H - номинальная (паспортная) мощность двигателя;

$\tau_{ном}$ - номинальное превышение температуры двигателя для данного класса изоляции;

α - отношение постоянных потерь двигателя к переменным, для асинхронных двигателей 0,5...0,7.

Для изучения механических и скоростных характеристик ознакомимся с электрооборудованием лабораторного стенда. В его состав входят:

Таблица 4.1 Состав электрооборудования лабораторного стенда

№	Наименование	Усл. обоз. в схеме
1	Электромашинная нагрузка с асинхронным двигателем и двигателем постоянного тока	<i>M1</i> и <i>M2</i>
3	Амперметр	<i>PA1</i>
4	Вольтметр	<i>PV1</i>
5	Реостат возбуждения машины постоянного тока (<i>M2</i>)	<i>R_в</i>
6	Нагрузочные лампы	<i>HL</i>
7	Блок трехфазного питания	<i>C1</i>
8	Прибор для измерения температуры	<i>PS1</i>
9	Термопара установленная в пазов статора асинхронного электродвигателя (<i>M1</i>)	<i>BK1</i>

Опыт нагрева производится на асинхронном короткозамкнутом двигателе (*M1*). Для измерения температуры в один из пазов статора установлена термопара (*BK1*), которая подключена к прибору по измерению температуры (*PS1*). Если между холодным и горячим спаями имеется разность температур, то в контуре возникает электродвижущая сила, пропорциональная разности температур. В данной установке ЭДС пропорциональна превышению температуры двигателя над температурой окружающей среды.

Нагрузка на валу исследуемого двигателя создается двигателем (*M2*) работающего в генераторном режиме с отдачей электрической энергии автономному потребителю (динамический тормозной режим), который в свою очередь нагружен сопротивлением ламп (*HL*). Для регулирования напряжения генератора последовательно с обмоткой возбуждения включено сопротивление *R_в* (рис 4.2).

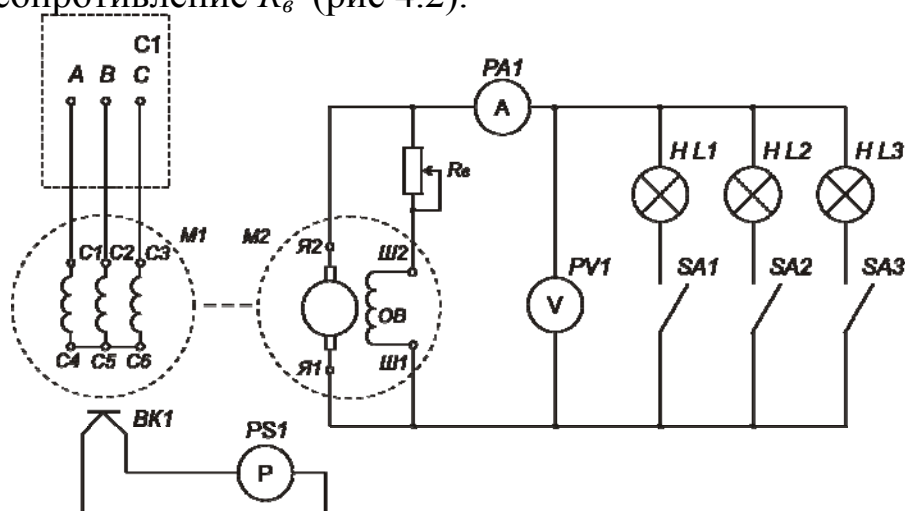


Рис 4.2 Электрическая схема установки для исследования нагрева электродвигателей

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой для исследования нагрева электродвигателей (рис 4.2) и вычертить ее электрическую схему.
2. Собрать электрическую схему (рис 4.2) и включить установку в работу. Создать электродвигателю нагрузку путем включения ламп НЛ (величина нагрузки задается преподавателем и контролируется амперметром РА1) и снять данные по нагреву $\tau=f(t)$. Измерения производить в момент включения и каждые 3...5 минут в течении 30...40 минут. В процессе опыта следить, чтобы ток нагрузки и напряжение поддерживался постоянным. Опытные и расчетные данные записать в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 Опытные и расчетные данные

Время отсчета, мин.	Показания прибора, °С	Превышение температуры, °С	Напряжение нагрузки, В	Ток нагрузки, А	Мощность нагрузки, Вт
1	2	3	4	5	6

3. Построить кривую нагрева двигателя и определить установившееся превышение температуры двигателя.
4. Определить номинальную мощность электродвигателя (по формуле (4.12)).

Содержание отчета

В отчете должны быть представлены:

1. Принципиальную электрическую схему установки.
2. Паспортные данные приборов и оборудования.
3. Таблицу данных наблюдений и вычислений.
4. Расчетные формулы.
5. Экспериментальные и расчетные кривые нагрева.
6. Результаты расчетов по определению установившегося превышения температуры двигателя.
7. Результаты расчетов по определению постоянной времени нагрева двигателя тремя методами.
8. Результаты расчетов по определению номинальной мощности электродвигателя.
9. Заключение по работе.

Контрольные вопросы

1. Чем ограничивается допустимая нагрузка электродвигателя?
2. Какие классы изоляции применяются в электродвигателях?
3. Как классифицируют режимы работы электродвигателей?
4. Как определить установившуюся температуру двигателя?
5. Как определить постоянную времени нагрева двигателя?