

УДК 621.313.333

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Овчаров С.В., к.т.н.,

Гончарова Н.В., аспирант*.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-32-63

Аннотация – в работе приведено аналитическое исследование перегрузочных характеристик асинхронных электродвигателей из условия допустимого теплового износа изоляции на одну перегрузку.

Ключевые слова – перегрузочная характеристика, дополнительный тепловой износ изоляции, скорость теплового износа, допустимое время.

Постановка проблемы. Асинхронные электродвигатели – наиболее распространенный тип электрических машин. Это объясняется простотой конструкции и высокой надежностью при условии правильной эксплуатации. Приблизительно 40% вырабатываемой электроэнергии потребляется асинхронными электродвигателями, поэтому проблемы сохранения, обеспечения, повышения и прогнозирования надежности асинхронных машин имеют большое значение. В большинстве случаев (85-95%) отказы асинхронных двигателей происходят из-за повреждения обмоток и распределяются следующим образом: межвитковые замыкания – 93%, пробой межфазной изоляции – 5%, пробой пазовой изоляции – 2%. Причины отказов можно дифференцировать следующим образом: технологические составляют примерно 35 %, эксплуатационные (в основном из-за неудовлетворительной защиты электродвигателей) – 50% и конструкционные – 15%. [2].

В эксплуатационных условиях асинхронные двигатели периодически испытывают различные перегрузки. Перегрузки могут быть вызваны, например, неисправностью приводного механизма или форсированием его работы, отклонением от нормы частоты или напряжения, временным повышением температуры окружающей среды, а

* Научный руководитель: д.т.н. В.В. Овчаров

© к.т.н. Овчаров С.В., аспирант Гончарова Н.В.

также другими причинами. Перегрузки сопровождаются повышением температуры обмотки, и как следствие ускоряется износ изоляции.

Сегодня основным защитным устройством электродвигателей от перегрузок являются тепловые реле, которые не учитывают фактический тепловой процесс в электродвигателях при перегрузках. Они настраиваются таким образом, чтобы при перегрузке на двадцать процентов отключение электродвигателя происходило через двадцать минут. При этом не учитываются постоянные времени нагрева электродвигателей, их начальный нагрев, конструктивные параметры электродвигателей и другое, – в результате защитные характеристики тепловых реле и перегрузочные характеристики не совпадают.

Анализ последних исследований. Начало исследований перегрузочных характеристик из условия допустимого теплового износа изоляции положено в [1]. Однако практических исследований не приведено.

Формулирование целей статьи (постановка задачи). Целью статьи является аналитическое исследование перегрузочных характеристик электродвигателей из условия допустимого теплового износа изоляции на одну перегрузку.

Основная часть. Определим допустимое время работы электродвигателя в зависимости от кратности перегрузки по току, взяв за основу допустимый дополнительный тепловой износ изоляции, приходящийся на одну перегрузку.

Для этого представим графически тепловой процесс в период перегрузки и после, считая, что после прекращения перегрузки электродвигатель продолжает работать с номинальной нагрузкой (рис. 1).

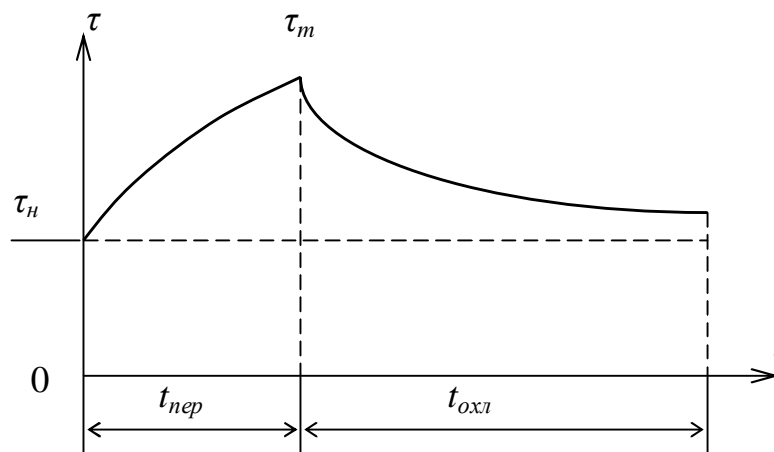


Рис. 1. Графики нагрева и охлаждения электродвигателя:
 τ_m – максимальное превышение температуры изоляции обмотки в конце перегрузки, $^{\circ}\text{C}$; $t_{пер}$ – время перегрузки, с; $t_{охл}$ – время охлаждения, с.

Приведен график теплового износа изоляции до, в период и после перегрузки (рис. 2).

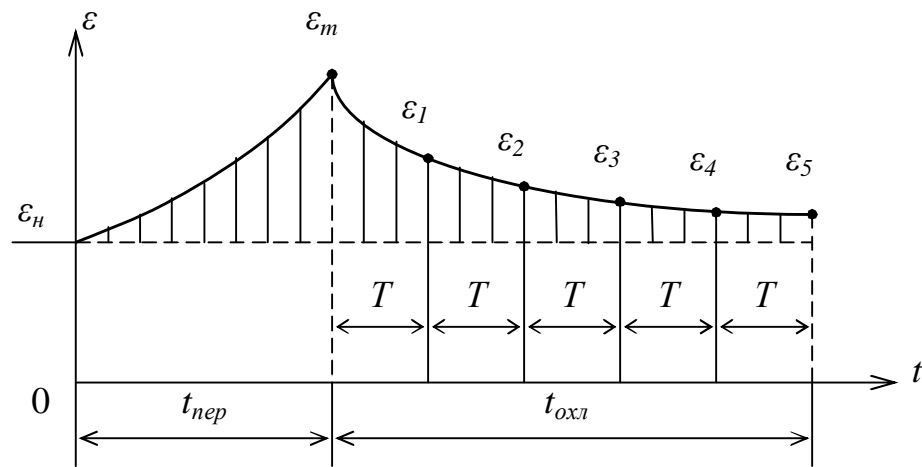


Рис. 2. График теплового износа изоляции электродвигателя.

Заштрихованная площадь на рис. 2 представляет собой дополнительный тепловой износ изоляции $\Delta E_{дон.}$.

Запишем выражение для определения дополнительного теплового износа изоляции на участке перегрузки, приняв зависимость $\varepsilon = f(t)$ линейной

$$\Delta E_{дон.} = \frac{1}{2} t_{пер} (\varepsilon_m - \varepsilon_n), \quad (1)$$

где $t_{пер}$ – время перегрузки, с;

ε_m – максимальная скорость теплового износа изоляции, бч/ч;

ε_n – номинальная скорость теплового износа изоляции; $\varepsilon_n = 1$ бч/ч.

Принимаем температуру окружающей среды $v_{ср} = 40$ °С, то есть номинальной. Тогда максимальная скорость теплового износа изоляции равна

$$\varepsilon_m = \varepsilon_n \cdot e^{B \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_m} \right)}, \quad (2)$$

где B – коэффициент, характеризующий класс изоляции, К;

θ_n – абсолютная номинальная температура изоляции обмотки электродвигателя, К;

θ_m – абсолютная максимальная температура изоляции обмотки электродвигателя, К.

В свою очередь абсолютная максимальная температура изоляции обмотки электродвигателя равна

$$\theta_m = \tau_m + \vartheta_{ср} + 273, \quad (3)$$

где τ_m – максимальное превышение температуры изоляции при перегрузке, °С;

v_{cp} – температура окружающей среды, °C.

Определим максимальное превышение температуры изоляции обмотки

$$\tau_m = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t_{nep}}{T}} \right) + \tau_n \cdot e^{-\frac{t_{nep}}{T}}, \quad (4)$$

где τ_y – установившееся превышение температуры изоляции при перегрузке, °C;

T – постоянная времени нагрева электродвигателя, с.

Постоянная времени нагрева электродвигателя равна [1]

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot m_i \cdot \tau_{in}}{\Delta P_n}, \quad (5)$$

где c_i – удельная теплоёмкость i -го тела электродвигателя, Дж/(°C·кг);

m_i – масса i -го тела электродвигателя, кг;

τ_{in} – превышение температуры i -го тела электродвигателя в номинальном режиме последнего, °C;

ΔP_n – потери мощности в электродвигателе при номинальном режиме, Вт.

Установившееся превышение температуры

$$\tau_y = \tau_n \frac{a + \kappa^2}{a + 1 - \alpha \cdot \tau_n (\kappa^2 - 1)}, \quad (6)$$

где a – коэффициент потерь электродвигателя;

κ – кратность перегрузки по току;

α – температурный коэффициент сопротивления, 1/°C.

Найдем дополнительный тепловой износ изоляции в период охлаждения после перегрузки

$$E_{d.o} = \frac{1}{2} T \sum_{i=1}^5 (\varepsilon_i + \varepsilon_{i-1} - 2\varepsilon_n), \quad (7)$$

где ε_i – скорость теплового износа изоляции в конце i -го участка, бч/ч;

ε_{i-1} – скорость теплового износа изоляции в начале i -го участка, бч/ч.

В свою очередь:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_n \cdot e^{B \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_i} \right)}; \quad (8)$$

$$\theta_i = \tau_i + \vartheta_{cp} + 273; \quad (9)$$

$$\tau_i = \tau_n (1 - e^{-1}) + \tau_{i-1} \cdot e^{-1}, \quad (10)$$

где τ_i – превышение температуры изоляции в конце i -го участка, °C;

τ_{i-1} – превышение температуры изоляции в начале i -го участка, °C.

Таким образом, для определения допустимого времени работы электродвигателя в зависимости от кратности перегрузки по току запишем систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{\text{доп}} = \Delta E_{\text{д.н}} + \Delta E_{\text{д.о}}; \\ \Delta E_{\text{д.н}} = \frac{1}{2} t_{\text{пер}} (\varepsilon_m - \varepsilon_n); \\ \varepsilon_m = \varepsilon_n \cdot e^{B \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_m} \right)}; \\ \theta_m = \tau_m + \vartheta_{\text{ср}} + 273; \\ \tau_m = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{пер}}}{T}} \right) + \tau_n \cdot e^{-\frac{t_{\text{пер}}}{T}}; \\ \tau_y = \tau_n \frac{a + \kappa^2}{a + 1 - \alpha \cdot \tau_n (\kappa^2 - 1)}; \\ E_{\text{д.о}} = \frac{1}{2} T \sum_{i=1}^5 (\varepsilon_i + \varepsilon_{i-1} - 2\varepsilon_n); \\ \varepsilon_i = \varepsilon_n \cdot e^{B \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_i} \right)}; \\ \theta_i = \tau_i + \vartheta_{\text{ср}} + 273; \\ \tau_i = \tau_n (1 - e^{-1}) + \tau_{i-1} \cdot e^{-1}. \end{array} \right. \quad (11)$$

Рассчитаем перегрузочную характеристику асинхронного электродвигателя АИР90L4У3. Заданными величинами являются: $P_n = 2,2 \text{ кВт}$; $\varepsilon_n = 1 \text{ бч/ч}$; $B = 10200 \text{ К}$; $\theta_n = 403 \text{ К}$; $v_{\text{ср}} = 40 \text{ °С}$; $T = 1191 \text{ с}$; $\tau_n = 90 \text{ °С}$; $a = 0,33$; $\alpha = 0,004 \text{ 1/°С}$; $E_{\text{доп}} = 1 \text{ бч}$; $\kappa = 1,15 \dots 1,6$.

Зависимость допустимого времени работы асинхронного электродвигателя АИР90L4У3 от кратности перегрузки по току $t_{\text{пер}} = f(\kappa)$ приведена на рис. 3.

С помощью метода наименьших квадратов была проведена аппроксимация зависимости $t_{\text{пер}} = f(\kappa)$ и получено уравнение регрессии

$$y = 67879x^4 - 394176x^3 - 858814x^2 - 832972x - 304018.$$

Аналогично рассчитываются перегрузочные характеристики асинхронных электродвигателей класса изоляции B других мощностей.

Выводы. Полученная математическая модель позволяет рассчитать перегрузочные характеристики асинхронных электродвигателей из условия допустимого дополнительного теплового износа изоляции

на одну перегрузку. Уравнения регрессии могут быть использованы в устройстве функционального диагностирования для определения допустимого времени работы асинхронного электродвигателя при токовой перегрузке.

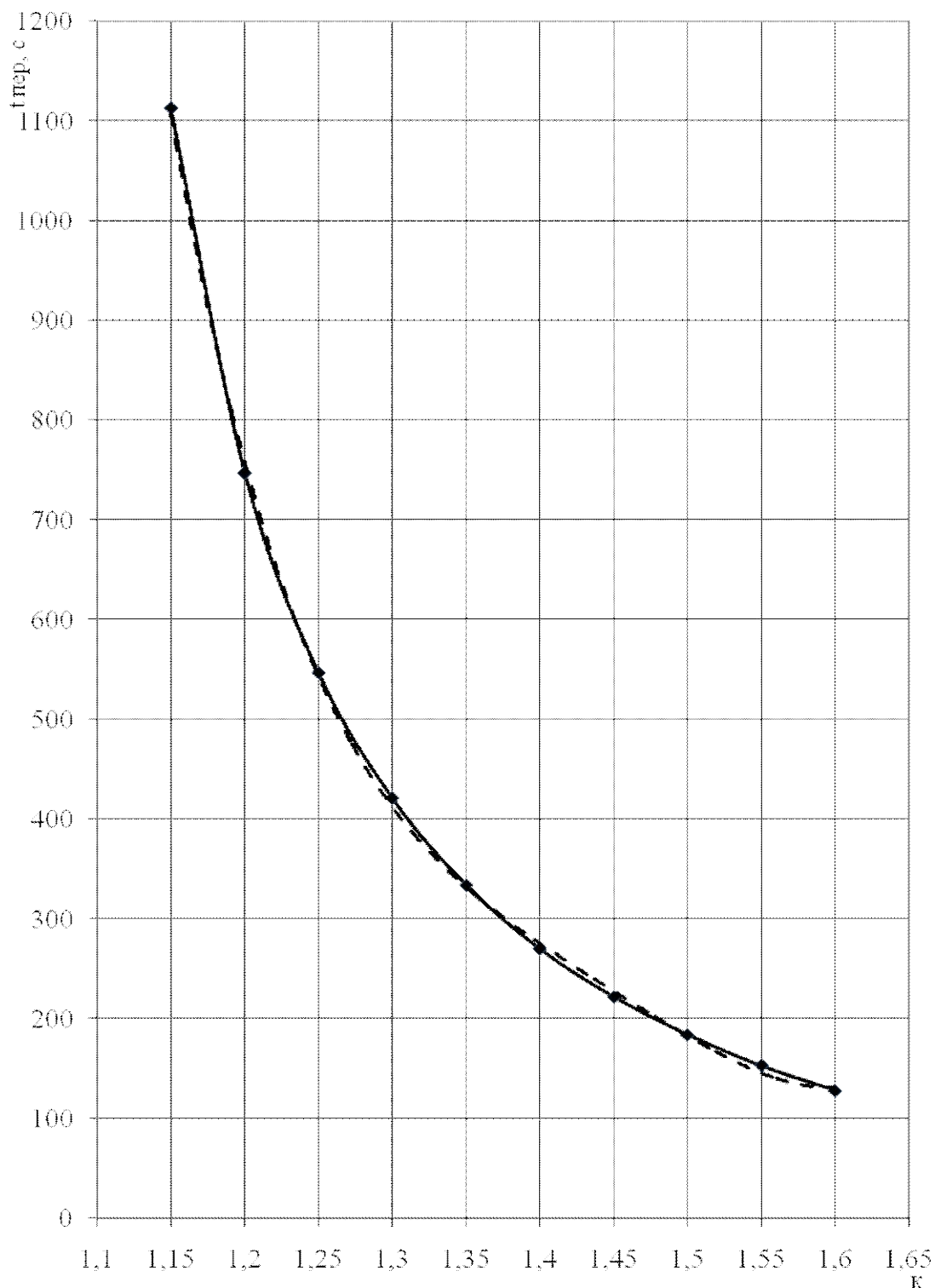


Рис. 3. Результат аппроксимации перегрузочной характеристики асинхронного электродвигателя АИР90L4У3.

Литература

1. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / *В.В. Овчаров.* – К.: УСХА, 1990. – 168 с.
2. *Кузнецов Н.Л.* Надежность электрических машин / *Н.Л. Кузнецов.* – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.

**АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ**

Овчаров С.В., Гончарова Н.В.

Анотація

в роботі наведено аналітичне дослідження перевантажувальних характеристик асинхронних електродвигунів із умови допустимого теплового зносу ізоляції на одне перевантаження.

**ANALYTICAL RESEARCH OF OVERLOAD CHARACTERISTICS
OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS**

S. Ovcharov, N. Goncharova

Summary

The article deals with methods of analytical research of overload characteristics of asynchronous electric motors under the conclusions of possible thermal deterioration of isolation.