



УДК 621.313.333.2:519.876.5

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Телюта Р.В., инженер,

Курашкин С. Ф., инженер,

Овчаров С.В., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел.: (0619) 42-32-63

Аннотация – предложена модель функционального диагностирования асинхронных электродвигателей по допустимому дополнительному износу изоляции на одну тепловую перегрузку.

Ключевые слова – функциональное диагностирование, нагрев электродвигателя, тепловой износ изоляции, расход ресурса изоляции, допустимое время работы электродвигателя.

Постановка проблемы. Повышенный тепловой износ изоляции асинхронного электродвигателя является одной из основных причин, которые оказывают влияние на его эксплуатационную надежность. Тепловые перегрузки возникают из-за ряда факторов, ведущих к превышению номинального тока, среди которых наиболее существенными являются несимметричное напряжение питания, выпадение фазы, короткие замыкания в линиях электропередачи. На тепловой износ изоляции электродвигателя влияет температура окружающей среды, кратность загрузки, которые могут отличаться от номинальных значений, как в меньшую, так и в большую сторону. Это соответственно ведет к недоиспользованию расхода ресурса изоляции или напротив – к повышенному расходу. Задача функционального диагностирования состоит в том, чтобы ограничить работу электродвигателя, поддерживая тепловой износ изоляции в пределах, ограниченных заводом-изготовителем, независимо от режима работы электродвигателя.

Анализ последних исследований. Существующие системы диагностирования эксплуатационных режимов работы асинхронных электродвигателей не учитывают количество тепловых перегрузок в течение одного года работы, влияющих на допустимый дополнительный тепловой износ изоляции.

Формулирование целей статьи. Целью статьи является установление зависимости допустимого времени работы асинхронного электродвигателя от кратности загрузки, температуры окружающей среды и дополнительного теплового износа изоляции на одну тепловую перегрузку.

Основная часть. Принимаем, что электродвигатель работает с номинальной нагрузкой и имеет номинальное превышение температуры изоляции τ_n . При возникновении токовой перегрузки, вследствие возникшего аномального эксплуатационного режима, превышение температуры обмотки электродвигателя за время перегрузки t_n достигает максимального значения τ_{max} (рис. 1), а при сбросе нагрузки, за время охлаждения t_o – снижается до номинального превышения температуры τ_n . В то же время, скорость износа изоляции обмотки увеличивается с номинального значения ε_n до максимального значения ε_{max} . Как следствие, возникает дополнительный тепловой износ изоляции $E_{дон}$ за время перегрузки и охлаждения, который представляет собой площадь, ограниченную кривой $\varepsilon = f(t)$ выше номинального значения скорости износа изоляции ε_n .

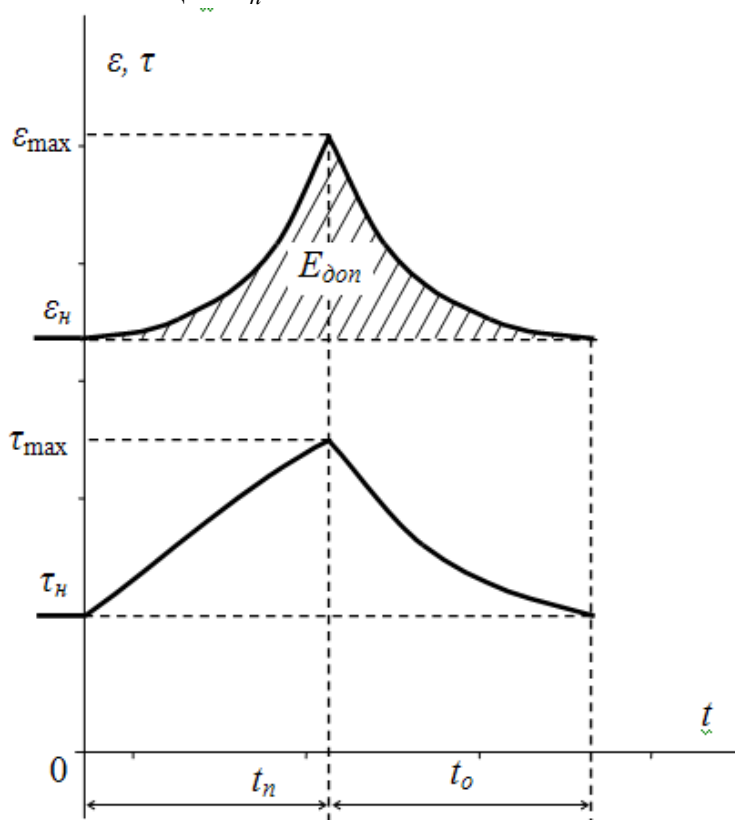


Рис. 1. Зависимости $\tau = f(t)$, $\varepsilon = f(t)$ при перегрузке электродвигателя.

Определим допустимый дополнительный тепловой износ изоляции электродвигателя при перегрузке в расчете на один аварийный режим.

Планируемый тепловой износ изоляции в течение года работы погружного электродвигателя определяется выражением [1]

$$E_{z\partial} = \frac{D_n}{T_m}, \quad (1)$$

где D_n – базовый срок службы изоляции электродвигателя, бч;

T_m – моральный срок службы электродвигателя, лет.

Фактический тепловой износ изоляции за год работы погружного электродвигателя, как правило, меньше допустимого, так как зависит от графика нагрузки:

$$E_{z\phi} = Ne \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\tau_\phi + \vartheta_{cp.n} + 273} \right), \quad (2)$$

где N – число часов работы электродвигателя в году, ч;

$\vartheta_{cp.n}$ – номинальная температура окружающей среды (воды), °С;

τ_ϕ – эквивалентное среднегодовое превышение температуры обмотки электродвигателя в рабочий период, °С, которое, в свою очередь, определяется следующим образом

$$\tau_\phi = \tau_n \frac{a + k_\phi^2}{a + 1}, \quad (3)$$

где τ_n – номинальное превышение температуры обмотки электродвигателя, °С;

k_ϕ – эквивалентный среднегодовой коэффициент загрузки электродвигателя по току в рабочий период.

Таким образом, допустимый дополнительный тепловой износ изоляции обмотки погружного электродвигателя в течение года равен

$$\Delta E_{z\partial} = E_{z\partial} - E_{z\phi}. \quad (4)$$

В течение года работы электродвигателя происходит n тепловых перегрузок по разным причинам, с учетом чего может быть определен допустимый дополнительный тепловой износ изоляции на одну тепловую перегрузку

$$E_{\partial.\partial on} = \frac{\Delta E_{z\partial}}{n}, \quad (5)$$

где n – вероятное число тепловых перегрузок в течение года.

После подстановки (22) – (25) в (26) окончательно получим

$$E_{\partial.\partial on} = \frac{1}{n} \left(\frac{D_n}{T_m} - Ne \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\tau_n \frac{a + k_\phi^2}{a + 1} + \vartheta_{cp.n} + 273} \right) \right). \quad (6)$$

Зависимость допустимого дополнительного теплового износа изоляции электродвигателя на один аварийный режим от числа перегрузок в течение года $E_{\partial.\partial on} = f(n)$ представлена на рис. 2.

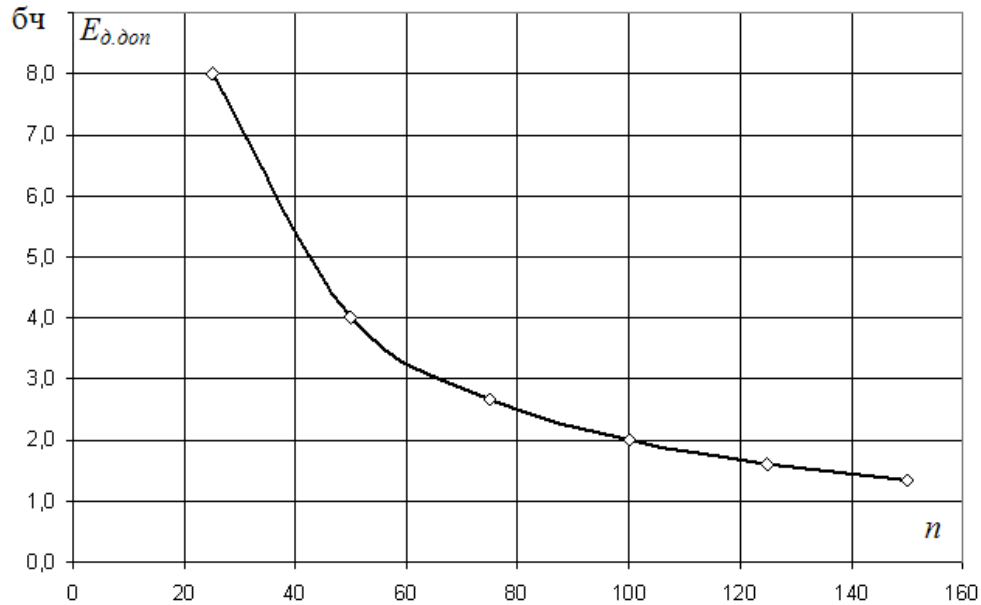


Рис. 2. Зависимость $E_{\partial.\partial on} = f(n)$.

Вероятное число тепловых перегрузок в течение года по статистическим данным составляет 50 – 100 перегрузок, таким образом значение допустимого дополнительного теплового износа изоляции электродвигателя на один аварийный режим $E_{\partial.\partial on} = 2...4$ бч.

Допустимый дополнительный тепловой износ изоляции на одну тепловую перегрузку можно представить как сумму дополнительного теплового износа изоляции при перегрузке $E_{\partial on.n}$ и охлаждении $E_{\partial on.o}$

$$E_{\partial.\partial on} = E_{\partial on.n} + E_{\partial on.o} \tag{7}$$

В свою очередь, дополнительный тепловой износ изоляции при перегрузке

$$E_{\partial on.n} = \int_0^{t_n} \varepsilon_n dt, \tag{8}$$

где t_n – время перегрузки, с;

ε_n – скорость теплового износа изоляции при перегрузке, бч/ч.

Скорость теплового износа изоляции

$$\varepsilon_n = \varepsilon_n e^{B \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\tau_n + \vartheta_{cp} + 273} \right)}, \tag{9}$$

где τ_n – текущее превышение температуры изоляции при перегрузке, °С, которое, в свою очередь, описывается уравнением

$$\tau_n = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_H e^{-\frac{t}{T}}, \quad (10)$$

где τ_y – установившееся превышение температуры изоляции, °С;

T – постоянная времени нагрева электродвигателя, с.

Дополнительный тепловой износ изоляции при охлаждении

$$E_{\text{дон.о}} = \int_0^{t_o} \varepsilon_o dt, \quad (11)$$

где t_o – время охлаждения изоляции до номинального превышения температуры, с;

ε_o – скорость теплового износа изоляции при охлаждении, бч/ч.

$$\varepsilon_o = \varepsilon_H e^{B \left(\frac{1}{\theta_H} - \frac{1}{\tau_o + \vartheta_{cp} + 273} \right)}, \quad (12)$$

где τ_o – текущее превышение температуры изоляции при охлаждении, °С, которое, в свою очередь, описывается выражением

$$\tau_o = \tau_{\text{max}} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (13)$$

Составляем математическую модель для определения допустимого времени работы электродвигателя с перегрузкой, задавшись температурой окружающей среды ϑ_{cp} , допустимым дополнительным тепловым износом изоляции на один аварийный режим $E_{\text{д.дон}}$, кратностью действующего среднеквадратичного значения силы электрического тока k :

$$E_{\text{д.дон}} = E_{\text{дон.н}} + E_{\text{дон.о}}, \quad (14)$$

$$E_{\text{дон.н}} = \int_0^{t_n} \varepsilon_n dt; \quad (15)$$

$$\varepsilon_n = \varepsilon_H e^{B \left(\frac{1}{\theta_H} - \frac{1}{\tau_n + \vartheta_{cp} + 273} \right)}; \quad (16)$$

$$\tau_n = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_H e^{-\frac{t}{T}}; \quad (17)$$

$$E_{\text{дон.о}} = \int_0^{t_o} \varepsilon_o dt; \quad (18)$$

$$\varepsilon_o = \varepsilon_H e^{B \left(\frac{1}{\theta_H} - \frac{1}{\tau_o + \vartheta_{cp} + 273} \right)}; \quad (19)$$

$$\tau_o = \tau_{\max} e^{-\frac{t}{T}}; \tag{20}$$

$$\tau_{\max} = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t_n}{T}} \right) + \tau_n e^{-\frac{t_n}{T}}; \tag{21}$$

$$\tau_n = \tau_{\max} e^{-\frac{t_o}{T}}. \tag{22}$$

Зависимость допустимого времени работы асинхронного электродвигателя погружного насоса ПЭДВ 2,8-140 от кратности перегрузки $t_n = f(k)$ для значения $E_{\delta, \text{дон}} = 4$ бч приведена на рис. 3.

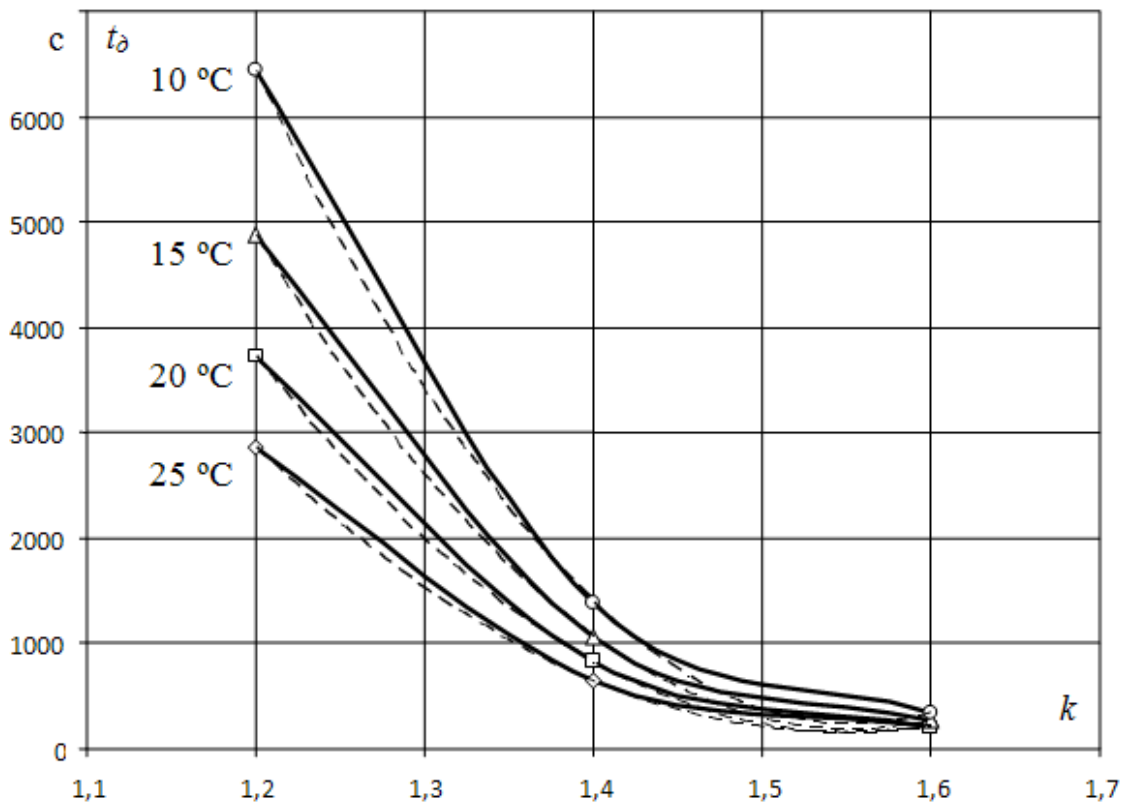


Рис. 3. Результаты аппроксимации зависимостей $t_{\delta} = f(k, \vartheta_{cp})$ для $E_{\delta, \text{дон}} = 4$ бч.

С помощью метода наименьших квадратов проведена аппроксимация полученных кривых $t_{\delta} = f(k, \vartheta_{cp}, E_{\delta, \text{дон}})$ и получены уравнения регрессии:

$$\vartheta_{cp} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}; y = 376050x^2 - 10^6x + 909114;$$

$$\vartheta_{cp} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}; y = 285313x^2 - 886838x + 690580;$$

$$\vartheta_{cp} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}; y = 224463x^2 - 694688x + 539024.$$

Полученные уравнения могут быть использованы в устройстве функционального диагностирования для определения допустимого

времени работы асинхронного электродвигателя погружного насоса при токовой перегрузке, возникшей по разным причинам и различной температуре воды в артезианской скважине.

Выводы. Установлено, что допустимый дополнительный тепловой износ изоляции на одну тепловую перегрузку составляет 2-4 бч. Получены уравнения регрессии, с помощью которых производится расчет допустимого времени работы электродвигателя с перегрузкой.

Литература.

1. *Овчаров В. В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве/ *В.В. Овчаров.* – К.: УСХА, 1990. – 168 с.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Телюта Р.В., Курашкін С.Ф., Овчаров С.В.

Анотація - запропонована модель функціонального діагностування асинхронних електродвигунів за припустимим додатковим зношенням ізоляції на одне теплове перевантаження.

MATHEMATICAL MODEL OF ELECTROMOTOR FUNCTION DIAGNOSE

R. Telyuta, S. Kurashkin, S. Ovcharov

Summary

There was proposed the function diagnose model of electromotor according to extra consumption of insulation resource per one heating overload.