

УДК 621.313.333-192

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

М.С. Ежова, В.Е. Полевой

Рассмотрены достоинства и недостатки математических моделей, описывающих показатели надёжности асинхронных электродвигателей в зависимости от внешних факторов. На основе анализа даны рекомендации использования методов оценки показателей надёжности в различные периоды жизненного цикла электродвигателей.

Ключевые слова: электродвигатель, показатели надёжности, математические модели, ресурс электродвигателя, внешние факторы.

Под надёжностью любого технического изделия понимают его способность выполнять свои функции в течение заданного промежутка времени. Одним из важнейших показателей надёжности является наработка на отказ, измеряющаяся числом часов работы до первого отказа. Чем больше это число, тем выше надёжность изделия. Различают конструкционную и эксплуатационную надёжность электродвигателя.

Конструкционная надёжность электродвигателя зависит от качества применяемых в машине материалов, качества изготовления отдельных узлов и элементов, совершенства технологии сборки и других факторов.

На эксплуатационную надёжность электродвигателя оказывают влияние качество изготовления машины, условия окружающей среды при эксплуатации, соответствие характеристик электродвигателя требованиям рабочей машины и технологического процесса, уровень технического обслуживания.

При решении задачи по обеспечению эксплуатационной надёжности электродвигателей необходима информация о законе распределения, времени безотказной работы и влиянии условий эксплуатации на показатели надёжности.

Все математические модели, прогнозирующие сроки службы электродвигателей, условно можно разделить на три группы:

- аналитические модели, в основе построения которых лежит анализ процесса;
- вероятностные модели, построенные с использованием теории ве-

роятности на основе статистических наблюдений;

- регрессионные модели, учитывающие влияние строго определённых факторов на выходные параметры исследуемого объекта.

Одной из первых аналитических моделей можно считать зависимости Монтзингера [1], позволяющие определять сроки службы обмоток при превышении их нагрева больше допустимой величины.

И.П.Сыч предложил рассчитывать ресурс t_p обмоток электродвигателя в зависимости от их температуры нагрева по аналитической зависимости [2]:

$$t_p = A_0 e^{-(\ln 2 / \Delta T) K_\mu}, \quad (1)$$

где A_0 – коэффициент, характеризующий материал изоляции;

ΔT – температура нагрева, °С;

K_μ – коэффициент, характеризующий относительную влажность воздуха.

В Германии процесс старения изоляции при перегреве определяют по экспоненциальной зависимости [3]:

$$\tau = A e^{T/B} \quad (2)$$

где A – коэффициент, характеризующий производственную среду;

T – параметр, учитывающий температурный перегрев обмотки, °С;

B – коэффициент, характеризующий материал изоляции.

Зависимости (1) и (2) хотя и позволяют с некоторым приближением определить ресурс обмоток электродвигателя, однако не учитывают его перегрузки по току.

С помощью эмпирической зависимости Ю.П. Похолкова [4] можно определить вероятность короткого замыкания (виткового, корпусного, межфазного) обмоток электродвигателя:

$$P(k/n) = 1 - \exp[-(0,007U + 0,00015K_{nepU})/z], \quad (3)$$

где U – номинальное напряжение, В;

K_{nepU} – коэффициент временного перенапряжения;

z – перекрываемое расстояние обмотки.

Модель Ю.П. Похолкова применима для выпных обмоток асинхронных двигателей (АД) и позволяет прогнозировать его отказ, связанный с возникновением дефекта изоляции. При этом под коротким замыканием обмоток или их дефектом понимается сквозное повреждение изоляции.

Вероятностная модель, предложенная О.Д. Гольдбергом [5], позволяет определить показатели надёжности обмоток электродвигателя в процессе эксплуатации по следующей зависимости:

$$p_{об} = \int_0^{\infty} g(U_B)[1 - F(U_B)]^n dU_B, \quad (4)$$

где $p_{об}$ – вероятность целостности межвитковой изоляции обмотки;
 U_B – напряжение пробития межвитковой изоляции обмотки;
 $g(U_B)$ – функция плотности напряжения пробития межвитковой изоляции обмотки;
 $F(U_B)$ – функция распределения напряжения пробития межвитковой изоляции обмотки;
 n – количество пар проводников, определяемое по эмпирической зависимости.

Надёжность межвитковой изоляции в модели О.Д. Гольдберга находится в заданных пределах:

$$p_{э}^n \leq p_{об} \leq p_{э}, \quad (5)$$

где $p_{э}^n$ – вероятность целостности межвитковой изоляции пары проводников в данном элементе обмотки;
 $p_{э}$ – вероятность целостности межвитковой изоляции данного элемента обмотки.

Недостатком модели О.Д. Гольдберга является прямая зависимость величины вероятности целостности межвитковой изоляции обмотки $p_{об}$ от внешнего вида функции распределения $F(U_B)$, которую необходимо определять экспериментальным путём. При этом учёт эксплуатационных факторов возможен лишь косвенно, т. к. он зависит от варьирования статистических данных – распределения напряжения пробития изоляции как функции от времени эксплуатации.

Эксплуатационные и климатические факторы, как и показатели надёжности, величины случайные. Их зависимости получают в удобной аналитической форме, оптимально отражающей информацию влияния воздействующих факторов на показатель надёжности. Такие модели можно получить при помощи теории статистически спланированных многофакторных экспериментов [6]. Полученные регрессионные уравнения имеют вид:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2 + \dots, \quad (6)$$

где Y – зависимый параметр надёжности;
 x_i, x_j – независимые факторы, воздействующие на зависимый параметр;
 b_i, b_j – коэффициенты, учитывающие степень влияния независимых факторов на зависимый параметр;
 n – количество независимых факторов.

Достоинством регрессионных моделей является учёт степени влияния независимых воздействующих факторов на выходной параметр надёжности электродвигателя.

Таким образом, рассматриваемые математические модели имеют свои достоинства и недостатки и применимы в конкретно заданных условиях. Так, например, аналитические модели описывают эксплуатационный процесс не более чем с двумя параметрами. Увеличение числа эксплуатационных параметров приводит к усложнению модели и увеличению допущений, что негативно сказывается на качестве результатов. Аналитические модели, помимо прочего, не учитывают характер износа, который имеет случайный характер, из-за чего на этапе практического использования к таким моделям теряется интерес.

У вероятностных моделей недостатком является невозможность учитывать воздействие эксплуатационных и климатических факторов, имеющих случайный характер. Рассмотренные модели (2), (3) и (4) целесообразно использовать в процессе проектирования электродвигателей.

Характер влияния эксплуатационных и климатических факторов на показатели надёжности в наиболее рациональном виде отражают регрессионные модели, поэтому их целесообразно использовать в период эксплуатации электродвигателей при изменяющихся внешних условиях.

Получить достоверные показатели надёжности на этапе эксплуатации возможно только экспериментальными методами подтверждения, что на практике не всегда реализуемо из-за длительности такого эксперимента, необходимости большого объёма экспериментальной выборки и сложности моделирования эксплуатационных факторов воздействия. Поэтому некоторые исследователи для сокращения объёма и времени испытаний применяют ускоренные методы, которые реализуются путём повышения нагрузок на конструктивные элементы электродвигателя и создания тяжёлых условий его работы. При этом авторы подобных методов вынуждены делать значительное количество допущений, которые не доказываются и не проверяются. Получаемые модели требуют тщательной проверки на адекватность.

Достоверность регрессионных моделей существенно повышается, если в качестве исходных данных используется статистический материал, полученный в результате многолетней эксплуатации большого количества исследуемых машин. Такие модели имеют наиболее достоверные значения показателей эксплуатационной надёжности.

Список литературы

1. Готтер Г. Нагрев и охлаждение электрических машин / Г. Готтер. Л.: Госэнергоиздат, 1961. 480 с
2. Сыч И.П. Влияние эксплуатационных факторов на изнашивание

обмотки и эффективность тепловой защиты электродвигателей / И.П. Сыч // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 1. С. 33-38.

3. Amft Dietrich. Ein Verfahren zur Schatzung der Restnut zugsdauer von Drahtisolationen in elektrischen Betriebs-mitteln / Wiss. Beitr. Ingenierhochsch. Zwickau, 1985. 11. № 3. s. 22-24.

4. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для студентов вузов / Н.Л. Кузнецов. М.: ИД МЭИ, 2006. 432 с.

5. Гольдберг О.Д. Надёжность электрических машин: учеб. для вузов / О.Д. Гольдберг, СП. Хелемская. М.: Академия, 2010. 288 с.

6. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.

Ежова Марина Сергеевна, студентка, marinezhova@yandex.ru Россия, Тула, Тульский государственный университет

Полевой Валерий Евгеньевич, канд. техн. наук, проф., v.polevoy@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

ANALYSIS OF METHODS OF CALCULATION OF RELIABILITY INDICES OF ASYNCHRONOUS MOTORS

M.S. Ezhova, V.E. Polevoy

Considered the advantages and disadvantages of mathematical models describing the indicators of reliability of electric motors depending on external factors. Based on the analysis results, recommendations on use of methods of estimation of parameters of reliability in different periods of the life cycle of electric motors.

Keywords: motor, the indicators of reliability, mathematical mo Delhi, resource motor, external factors.

Ezhova, Marina Sergeevna, a student, marinezhova@yandex.ru Russia, Tula, Tulsy state University

Polevoy Valeriy Yevgenievich, candidate of technical sciences, professor, v.polevoy@mail.ru, Russia, TuLa, Tula state University