DOI: 10.17117/na.2016.11.02.147

<http://ucom.ru/doc/na.2016.11.02.147.pdf>

Поступила (Received): 24.11.2016

**Киснеева Л.Н., Рылов Ю.А., Аухадеев А.Э.,
Елисеев Б.О., Уржумцев П.С.
Анализ факторов нагружения тяговых
электродвигателей в процессе эксплуатации**

**Kisneeva L.N., Rilov Yu.A., Auhadeev A.E., Eliseev B.O., Urzhumtsev P.S.
Analysis of the of traction electric motors load factors during operation**

Рассматривается влияние различных факторов на технологические режимы работы тяговых электродвигателей электроподвижного состава городского электрического транспорта. Показано, что при воздействии нескольких факторов на группу элементов тягового электрооборудования, представляющих собой узел, происходят сложные явления из-за различия в уровнях воздействия отдельных факторов, что определяет необходимость использования при определении надежности узла сложных законов и композиционных моделей

Ключевые слова: электроподвижной состав, тяговые электродвигатели, режимы нагружения электродвигателя, надежность, факторное пространство

Киснеева Ляйля Нургалиевна

Старший преподаватель

Казанский государственный энергетический университет

г. Казань, ул. Красносельская, 51

Рылов Юрий Анатольевич

Кандидат технических наук, профессор

Казанский государственный энергетический университет

г. Казань, ул. Красносельская, 51

Аухадеев Авер Эрикович

Кандидат технических наук, доцент

Казанский государственный энергетический университет

г. Казань, ул. Красносельская, 51

The influence of various factors on the technological modes of of traction electric motors of electric rolling stock of urban electric transport. It is shown that under the influence of several factors on a group of elements of electric traction, representing node complex phenomena occur due to differences in exposure levels of individual factors that determine the need for reliability in determining the site of complex laws and composite models

Key words: electroring composition, traction motors, motor loading modes, the reliability, factor space

Kisneeva Lyailya Nurgalievna

Senior Lecturer

Kazan state power engineering university

Kazan, Krasnoselskaya st., 51

Rilov Yuriy Anatolevich

Candidate of Engineering Sciences, Professor

Kazan state power engineering university

Kazan, Krasnoselskaya st., 51

Aukhadeev Aver Erikovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Kazan state power engineering university

Kazan, Krasnoselskaya st., 51

Елисеев Богдан Олегович

Студент

Казанский государственный энергетический университет

г. Казань, ул. Красносельская, 51

Eliseev Bogdan Olegovich

Student

Kazan state power engineering university

Kazan, Krasnoselskaya st., 51

Уржумцев Павел Сергеевич

Студент

Казанский государственный энергетический университет

г. Казань, ул. Красносельская, 51

Urzhumtsev Pavel Sergeevich

Student

Kazan state power engineering university

Kazan, Krasnoselskaya st., 51

Как показывает практика эксплуатации электроподвижного состава городского электрического транспорта, отказы элементов электротехнических систем могут быть вызваны несоответствием факторов нагружения, воздействующих на ее элементы. Эти факторы могут воздействовать на каждый элемент системы отдельно или совместно, причем уровни их могут принимать различные значения, а их временные и количественные характеристики зависят от условий эксплуатации, зависящих от температуры окружающей среды, барометрического давления, загрязнения, инея, снега и др. [1-3].

Если задаться условием, что все факторы, влияющие на работу и техническое состояние элементов тягового электродвигателя (ТЭД) образуют факторное пространство, то становится очевидным, что несмотря на то, что на каждый элемент действует определенная группа факторов, все они объединяются факторным пространством, воздействующим на элементы системы. Также необходимо задаться условием, что элементы факторного пространства независимы и могут принять различные значения в зависимости от условий эксплуатации. Анализ режимов нагружения ТЭД, а также его элементов показывает, что они по своей природе имеют случайный характер [4-6].

Возможны варианты формирования факторного пространства, предполагающие либо независимость, либо коррелированность элементов факторного пространства, которые могут быть выражены через их производные.

Анализ результатов экспериментальных исследований позволяет высказать предположение, что в любом факторном пространстве Φ существует так называемое базисное пространство Φ_b , такое, что все остальные факторы из Φ однозначно определяются элементами Φ_b , если между ними существует корреляционная связь.

Для ТЭД выделяются в качестве базисных факторов следующие параметры: сила тока и напряжение, расход воздуха в системе охлаждения, влажность воздуха. Эти факторы взаимно независимы. Под взаимной независимостью факторов будем понимать отсутствие между ними каких-либо связей, т. е. их некоррелированность. Таким образом, пространство факторов принимается за базисное при условии, что все остальные факторы, воздействующие на систему, должны однозначно выражаться через элементы базисного пространства и исключение хотя бы одного из них не позволит описать однозначно остальные факторы и их влияние на элемент [4-6].

Задача сводится к определению зависимости интенсивности отказов элемента и всей системы не от всего факторного пространства, а только от базисного, путем использования корреляционной связи между элементами факторного базисного пространства. Алгоритм определения основных характеристик надежности состоит из следующих этапов:

1. Для каждого элемента системы Φ_k определяется пространство всех факторов, влияющих на элемент (факторы непосредственного влияния).
2. Находится пространство факторов непосредственного влияния на систему:

$$\Phi = \prod_{k=1}^n \Phi^k$$

3. Выделяется из Φ согласно свойствам машины базисное пространство Φ_b .
4. На основании экспериментальных данных определяется зависимость интенсивности отказов от факторов факторного пространства.
5. На основании экспериментальных данных строятся зависимости факторов из Φ от элементов Φ_b .

С помощью уравнений, характеризующих связь интенсивности отказов, вероятности безотказной работы, режимов нагружения, можно получить зависимости вероятности безотказной работы системы от факторов базисного пространства [7-9].

Данная логическая последовательность математических процедур показывает, как можно исследовать и оценивать надежность элементов системы в процессе эксплуатации с учетом данных нагружения и режимов работы ТЭД.

Уровень факторов, действующих на элементы ТЭД, может быть не одинаковым, при этом часть элементов зависит от действия одной группы факторов и не зависит от другой. Другие – наоборот, могут быть коррелированы, но в целом вся система зависит от всех факторов сложной функциональной зависимостью, поэтому необходимо рассматривать зависимость деталей и узлов от факторов, которые представляют собой пространство, соответствующее данной системе [10].

На основании изложенного возникает задача определения связи между характеристиками надежности системы и факторами физического нагружения элементов этой системы. Для этого принимаются необходимые допущения и определения. Влияние отдельных факторов на элемент системы можно считать фактором непосредственного влияния. Например, на изоляцию влияет температура, сокращает срок ее службы и снижает надежность, однако, она зависит от тока нагрузки, а, следовательно, температура является производной от тока [11].

Принимается условие, что ϕ_k – множество факторов, влияющих на k -й элемент, и n – количество элементов системы. Их совокупность есть пространство физических факторов непосредственного влияния на надежность системы. Пространство физических факторов для двигателя типа ДК-259ГЗ сведено в табл. 1

Согласно формуле, связывающей интенсивность отказов с вероятностью безотказной работы, имеем:

$$\lambda(x) = \frac{1}{p(x)} * \frac{dp(x)}{dx}$$

В данном выражении при заданных параметрах надежности системы и структуре любому P_k соответствует λ_k элемента. Имея данные эксплуатационных исследований и обработав их соответствующим образом, можно получить оператор зависимости $\psi; \Phi \rightarrow R$, который явно, в табличной или какой-либо удобной в каждом конкретном случае форме, отображает зависимость интенсивности отказов k -го элемента – λ_k от факторов, являющихся элементами факторного пространства.

Таблица 1. Характеристика факторов нагружения тягового двигателя ДК-259ГЗ

Фактор влияния	Пределы изменения	Единица измерения
Температура	0-280	°С
Вибрация	0-35	Гц
Ток	0-190	А
Напряжение	275/550	В
Расход воздуха в системе охлаждения	<50	м³/мин
Мощность	45	КВт
Влажность	0-98	%
Частота вращения	1200-4060	об/мин

Эта зависимость может быть получена и в отдельном случае для каждого фактора, а потом выведена единая характеристика от всех других, т.е. получена функция вида:

$$\lambda_k = \psi(f_i \dots f_m), \quad (1)$$

где $f_m \in \Phi, m = 1; n$.

Функцию (1) можно продифференцировать (методом Ньютона, Стирлинга) и получить уравнение в частных производных:

$$\frac{\partial \lambda_k}{\partial f_j} = \frac{\partial y}{\partial f_i} * (\partial f_i \dots \partial f_j \dots \partial f_m) \quad (2)$$

Эта зависимость является показателем изменения интенсивности отказов k -го элемента при изменении j -го фактора физического нагружения.

Имея выражение для λ_k , можно получить P_k , которая также будет зависеть от $f_i \dots f_m$. Это можно сделать, решая дифференциальное уравнение относительно P_k :

$$\lambda_k(x; f_i \dots f_m \dots) = \frac{1}{P_k(x; f_i \dots f_m)} * \frac{dP_k(x; f_i \dots f_m)}{dx} \quad (3)$$

В случае, когда несколько факторов воздействует на группу элементов системы, представляющих собой узел, тогда могут происходить более сложные явления из-за того, что свойства элементов различны и не одинаково воспринимают воздействие отдельных факторов. Тогда в целом надежность узла будет изменяться по более сложному закону и выражаться композиционной моделью [12].

Список используемых источников:

1. Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э., Колесников С.В., Водолазов В.Н. Методика статистической оценки эксплуатационных параметров энергосбережения тяговых электродвигателей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2005. № 3-4. С. 14-20.
2. Попов А.В., Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э. Экспериментальное исследование режимов нагрузки асинхронных электродвигателей в производственных условиях // Энергетика Татарстана. 2016. № 2 (42). С. 76-79.
3. Баженов Н.Г., Аухадеев А.Э. Теоретические основы электротехники и введение в электромеханику. Казань, Вестфалика. 2013. Часть 1, – 182с.
4. Аухадеев А.Э. Моделирование режимов тяги силового электрооборудования электрического транспорта. Казань: КГЭУ, 2006. 176 с.
5. Литвиненко Р.С., Волкова А.А., Багаев А.В. Методы моделирования процесса функционирования сложных технических систем // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2015. №53. С.310-311.
6. Литвиненко Р.С., Павлов П.П. Методы моделирования процесса функционирования электротехнического комплекса // Наука и современность. 2015. №4(6). С.84-91.
7. Литвиненко Р.С., Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э. Моделирование отказов электротехнического комплекса и его элементов на этапе разработки // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2015. Т.11. №4. С.17-24.
8. Антипанова И.С., Литвиненко Р.С., Соловьева С.И., Корольков А.Ю. Методика обоснования требований к надёжности сложной технической системы на этапе разработки // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2015. № 53. С. 291-293.
9. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Гуреев В.М., Мисбахов Р.Ш. Оценка технического уровня сложных систем на этапе разработки // Вестник машиностроения. 2015. № 6. С. 35-39.
10. Попов А.В., Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э. Методика расчета надежности обмоток высоковольтных асинхронных электродвигателей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. № 5-6. С. 94-98.
11. Литвиненко Р.С. Имитационная модель процесса функционирования электротехнического комплекса с учетом надежности его элементов // Надежность. 2016. №1(56). С.37-42.
12. Литвиненко Р.С., Афросин А.С., Гадиев А.А. Анализ надежности электротехнического комплекса с использованием имитационной модели // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2015. №11. С.71-78.

© 2016, Киснеева Л.Н., Рылов Ю.А., Аухадеев А.Э.,
Елисеев Б.О., Уржумцев П.С.
Анализ факторов нагружения тяговых
электродвигателей в процессе эксплуатации

© 2016, Kisneeva L.N., Rilov Yu.A., Auhadeev A.E.,
Eliseev B.O., Urzhumtsev P.S.
Analysis of the of traction electric motors load factors
during operation