

Компьютерная модель эксплуатационной надежности обмоток крановых асинхронных двигателей

ВЕДЯШКИН М.В.

Построена компьютерная модель, определены параметры законов распределения отказов и количественные показатели безотказности, характеризующие надежность обмоток статоров и роторов крановых асинхронных двигателей на стадии эксплуатации. Полученные данные позволяют оценить влияние режима работы и условий эксплуатации на эксплуатационную надежность и будут использованы при проектировании и изготовлении крановых асинхронных двигателей.

Ключевые слова: асинхронные двигатели, обмотки статора и ротора, вероятность безотказной работы, законы распределения отказов

Исследование эксплуатационной надежности (ЭН) — одна из актуальных задач современной техники. Для электрических машин она решается с применением методов теории надежности на этапах их проектирования, изготовления и эксплуатации. Математические модели (ММ), описывающие процессы преобразования энергии в электрических машинах, способствуют разработке совершенных автоматизированных электроприводов. Развитие вычислительной техники в сочетании с возможностями математики обусловили использование метода компьютерного математического моделирования в научных исследованиях электрических машин и привода. Математическое моделирование не требует создания лабораторных электромашинных стендов и обеспечивает в ряде случаев большие возможности, чем натурный эксперимент.

Цель данной работы — построение компьютерной модели (КМ) эксплуатационной надежности обмоток крановых асинхронных двигателей (КраД). К мостовым кранам (МК) предъявляются повышенные требования по надежности, безопасности, тщательнее ведется документация по их техническому обслуживанию и ремонтам. Крановые АД имеют однотипную конструкцию, поэтому данные по их эксплуатационной надежности можно использовать при статистическом моделировании на всех этапах жизненного цикла.

Исследование эксплуатационной надежности КраД было проведено на предприятии ООО «Юргинский машиностроительный завод», где установлено свыше 200 грузоподъемных механизмов от 0,5 до 100 т. В основном мостовые краны на предпри-

A computer model is constructed, the parameters of failure distribution laws are determined, and the quantitative infallibility indicators characterizing the reliability of the stator and rotor windings of induction crane motors at the stage of their operation are defined. The obtained data make it possible to estimate the effect the operating mode and operating conditions have on operational reliability and will be used in designing and manufacturing induction motors for cranes.

Key words: induction motors, stator and rotor windings, probability of failure-free operation, failure distribution laws

ятии эксплуатируются в течение 25–35 лет, что характерно практически для всех машиностроительных заводов России. Для получения достоверных статистических данных об их работе была разработана специальная учетная форма. При исследовании мостовых кранов учитывали работу асинхронных двигателей в следующих электроприводах механизмов: главного и вспомогательного подъемов; передвижения моста крана; передвижения тележек главного и вспомогательного подъемов [1, 2]. Сбор данных по эксплуатации асинхронных двигателей проводился по всем видам отказов КраД за 2005–2009 гг.

Причины отказов для кранов, работающих в стандартных условиях окружающей среды, и специальных подъемно-транспортных машин, работающих при повышенной температуре окружающей среды и наличии агрессивной среды, следующие: 68% — отказы обмоток статоров (ОС); 30% — отказы обмоток роторов (ОР); 2% — отказы подшипниковых узлов. Основная часть отказов приходится на обмотки статора и ротора КраД, поэтому здесь рассматривается ММ, связанная с наработками на отказ ОС и ОР и описывающая систему, функционирующую в реальных условиях.

В ММ разработаны алгоритмы определения вероятностных характеристик надежности обмоток КраД для создания программно-вычислительного комплекса по оценке эксплуатационной надежности двигателей. Дальнейшая интерпретация ММ будет проводиться с позиции КМ, которая включает составляющие: ММ, представляющую совокупность объектов и связей между ними, отражающих

необходимые свойства объекта моделирования; математический аппарат, используемый для получения количественных результатов с помощью ММ; программу реализации модели на компьютере [3].

Отправным пунктом построения ММ должны быть согласующиеся с опытом эксплуатации допущения: наработки на отказ являются статистически независимыми; объекты идентичны по устройству, назначению и условиям эксплуатации; в качестве исходных данных для статистической обработки применяются случайные наработки на отказ; для оценки и анализа эксплуатационной надежности в качестве основных показателей безотказной работы КрАД приняты функции распределения, которые адекватно сопоставляются с наработкой на отказ для электромеханических систем: нормальная, логарифмически-нормальная и функция распределения Вейбулла.

С учетом этих допущений строится ММ, на базе которой можно дать строгое количественное описание процессов, влияющих на ЭН КрАД. В качестве исходных данных ММ рассматривается эксплуатационная информация объемом N , содержащая наработки t_i ($i = 1, 2, \dots, N$), которые являются наработками на отказ первоначально работающих КрАД, а также двигателей, установленных после замен или восстановлений.

Для оценки ЭН КрАД используем показатель вероятности безотказной работы (ВБР) $P(t)$, обладающий наглядностью, простотой получения оценки по известным значениям наработки на отказ. Зная функцию ВБР, легко определить остальные показатели надежности: функцию вероятности отказа $Q(t)$; среднюю наработку на отказ T_{cp} ; интенсивность отказов $\lambda(t)$; гамма-процентную наработку на отказ T_g и т.д. [4–6].

Разработанное программное средство позволяет оценить параметры трех моделей надежности: Вейбулла, нормальной и логарифмически-нормальной. Как показали расчеты, для ОС следует использовать нормальную модель надежности; плотность распределения времени до отказа в этом случае описывается кривой Гаусса:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s^2} e^{-\frac{(t - T_{cp})^2}{2s^2}},$$

а функция ВБР равна

$$P(t) = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{t - T_{cp}}{\sqrt{2}s} \right) \right]$$

где T_{cp} , s – параметры нормального распределения (математическое ожидание и стандартное отклонение); функция ошибок

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt.$$

Для ОР используем модель надежности Вейбулла. После получения оценок параметров моделей надежности рассчитываются границы доверительных интервалов с вероятностью $\alpha = 0,95$. Точность выбранных моделей надежности оценивается с по-

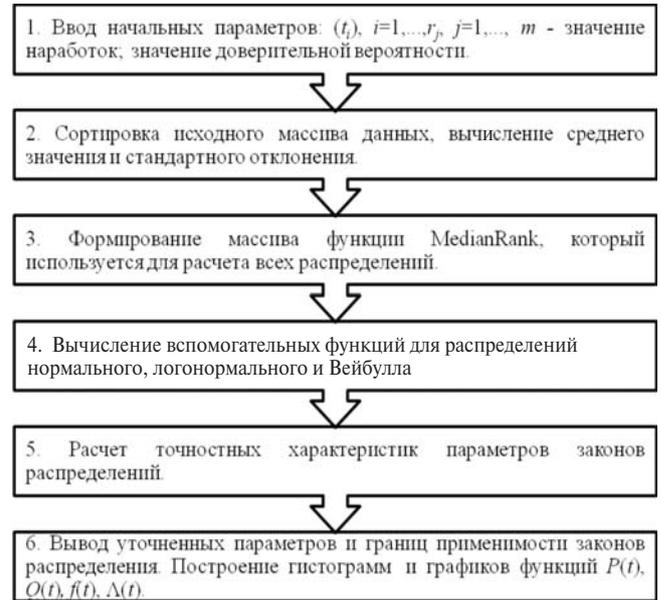


Рис. 1. Алгоритм оценки эксплуатационной надежности

мощью коэффициента корреляции Пирсона [6]. Алгоритм компьютерной модели представлен на рис. 1.

Алгоритм определения надежности мостового крана работает следующим образом:

1. Вводятся исходные данные, что может осуществляться вручную, импортироваться из текстового файла, загружаться из сохраненного файла. Также должны быть введены значение Gamma для вычисления гамма-процентной наработки и необходимое значение доверительной вероятности;

2. Обрабатывается исходный массив данных (сортировка, определение стандартных статистических параметров);

3. Формируется массив значениями функции MedianRank, который используется для разных видов распределения (Вейбулла, нормальный, логарифмически-нормальный);

4. Вычисляются вспомогательные функции для распределения Вейбулла, а также для нормального, логарифмически-нормального распределений.

5. Уточняются значения определенного закона распределения и определяются границы применимости соответствующего закона;

6. Строятся точностные характеристики параметров распределения и графики функций.

Тип привода мостового крана	Обмотка статора				Обмотка ротора			
	N_{oc}	$\bar{t}_{min}, ч$	$\bar{t}, ч$	$\bar{t}_{max}, ч$	N_{op}	$\bar{t}_{min}, ч$	$\bar{t}, ч$	$\bar{t}_{max}, ч$
Главный подъем	25	9526	9986	10446	15	16813	17547	18282
Вспомогательный подъем	37	7327	7512	7697	16	18032	18928	19825
Тележка МК	39	7473	7561	7649	16	16308	17251	18193
Вспомогательная тележка	25	8351	8559	8768	12	17786	18749	19713
Главная тележка	30	7371	7578	7786	12	16149	16949	17750

На основании эксплуатационных наблюдений и результатов моделирования для примера на рис. 2 построены гистограммы и законы распределения наработок на отказ ОС КрАД.

При изготовлении обмоток на их надежность влияет качество изоляционных материалов (витковая и корпусная изоляция, пропитывающий лак, технология изготовления), а в процессе эксплуатации – режимы работы двигателей и условия окружающей среды. Все эти факторы являются случайными величинами и определяют надежность ОС и ОР крановых асинхронных двигателей.

Одной из основных характеристик надежности является вероятность безотказной работы (рис. 3), которая используется при проектировании, изготовлении, эксплуатации и совершенствовании системы технического обслуживания и ремонта асинхронных двигателей.

Интервальные оценки наработок на отказ статоров и роторов приводов мостового крана представлены в таблице. В ней приведено число экспериментальных данных N и показаны интерваль-

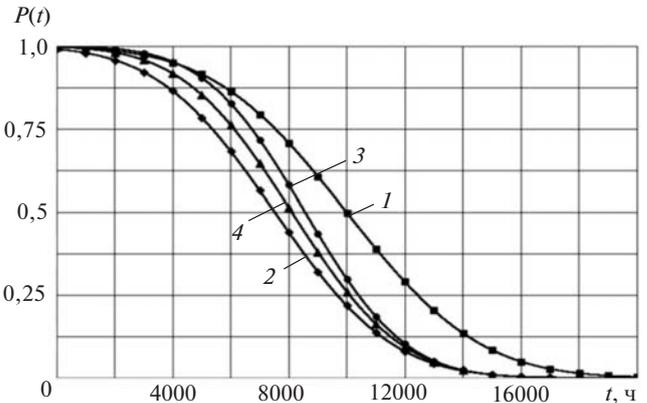


Рис. 3. Вероятность безотказной работы ОС: 1 – главный подъем; 2 – вспомогательный подъем; 3 – привод передвижения вспомогательной тележки; 4 – все приводы мостового крана

ные оценки средних наработок обмоток статоров КрАД с доверительной информацией 0,95 для главного и вспомогательного подъемов, привода передвижения моста крана, приводов передвижения вспомогательной и главной тележек мостового крана, а также суммарные наработки всех приводов. Следует отметить, что все двигатели работали в одинаковых условиях окружающей среды, а их обмотки статоров прошли капитальный ремонт с применением одинаковой технологии и однотипных материалов. Разброс значений наработок объясняется различными режимами работы. В частности, главный подъем используется меньше других и наработка на отказ у него существенно выше остальных приводов.

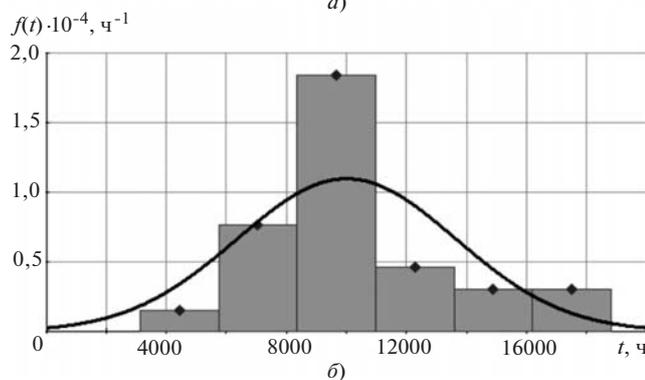
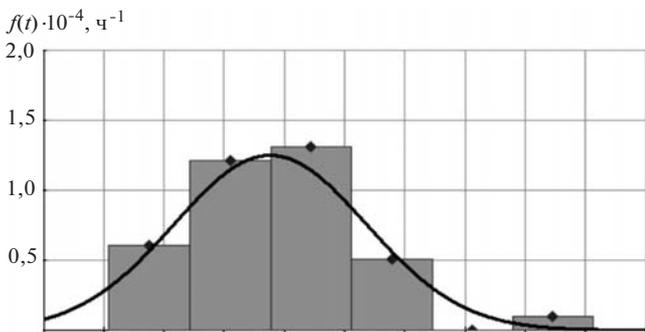


Рис. 2. Гистограммы и законы распределения наработок на отказ ОС КрАД: а – главный подъем; б – вспомогательный подъем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брауде В.И., Семенов Л.Н. Надежность подъемно-транспортных машин. – Л.: Машиностроение, 1986.
2. Александров М.П. Грузоподъемные машины. – М.: Высшая школа, 2000.
3. Птах Г.К. Методологические аспекты разработки компьютерных моделей электромеханических преобразователей. – Изв. вузов. Электромеханика, 2003, №1.
4. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин. – М.: Изд. дом МЭИ, 2006.
5. Животкевич И.Н., Смирнов А.П. Надежность технических изделий. – М.: Олита, 2003.
6. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит, 2006.

Автор: Ведяшкин Максим Викторович окончил ТПУ по специальности «Электромеханика» в 2003 г. Аспирант кафедры «Электромеханические комплексы и материалы» ТПУ.