

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ ОБМОТОК СТАТОРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С.А. Смолярчук, А.Л. Федянин
Томский политехнический университет

Введение

Трехфазные асинхронные двигатели (АД) являются наиболее многочисленной продукцией российского электромашиностроения. При соблюдении условий эксплуатации и обслуживания АД, можно добиться высоких показателей надежности при их использовании. В силу простоты конструкции около 95% электроприводов оснащают именно АД, которые потребляют более 60% всей производимой электроэнергии в стране и в мире.

В процессе эксплуатации электродвигателей по разным причинам в них возникают неисправности, которые могут привести к простоям в работе технологического оборудования.

В связи с этим задачу исследования надежности электрических машин (ЭМ), т.е., по существу задачу определения количественных характеристик надежности, целесообразно рассматривать, как задачу исследования вероятностных свойств ЭМ, функционирующих в реальных условиях, когда на них действуют случайные возмущения. Только на основе анализа надежности можно разработать мероприятия по повышению безотказности и долговечности электрических машин, обосновать межремонтные периоды, нормативы расхода запасных частей, объемы ремонтов и сформулировать требования по надежности применительно к заданным условиям эксплуатации и решить многие другие важные задачи [2].

Задачи и методы исследования

Ссылаясь на исследования, проводимые в области определения надежности асинхронных двигателей, наиболее слабым их звеном являются обмотки статоров, надежность работы которых будет рассмотрена далее.

Цель данной работы состоит в определении фактических значений показателей безотказности статорных обмоток, характеризующих надежность АД, применяемых в химической промышленности на стадии эксплуатации.

Полученные результаты будут использованы для расчета показателей надежности на стадии проектирования и изготовления АД и

совершенствовании системы их технического обслуживания и ремонта.

Для проведения исследования эксплуатационной надежности выбраны АД, установленные на арматуре подачи и выдачи продукта в аппараты радио-химического завода АО «СХК».

Оборудование, управляющее закрытием и открытием запорной арматуры, в настоящее время превратилось в один из основных решающих факторов, определяющих эффективность производства. Правильный выбор оборудования влияет на нормальную работу и обеспечение высокой производительности производства. Невозможно обеспечить его устойчивый ритм на современной ступени интенсификации без согласования безотказной работы.

Наиболее широко в химической промышленности используются электроприводы типа “А” с двухсторонней муфтой ограничения крутящего момента. Его предназначение – дистанционное и местное управление трубопроводной запорной арматурой.

Изучение материалов эксплуатации АД показало, что 85-95% отказов происходит в результате повреждения обмотки статора; 2-5% отказов – вследствие повреждения подшипников. В такой обмотке около 93% отказов приходится на межвитковые замыкания, 5% – на повреждения межфазовой изоляции и 2% – на повреждения корпусной изоляции.

Причинами отказов являются низкое качество изготовления двигателей (30-35%), недостатки эксплуатации (35-50%) и несоответствие конструктивного исполнения двигателей условиям эксплуатации (15-35%). В процессе эксплуатации двигатели выходят из строя в основном в результате отсутствия или неудовлетворительного состояния тепловой защиты, так как при использовании плавких предохранителей двигатели не защищены от недопустимого повышения тока при работе на двух фазах.

Существенно влияют на надежность двигателей частота их включения и влажность окружающей среды. При частых включениях и реверсах быстрее разрушаются сепараторы подшипников, а в обмотках возникают значительные динамические усилия и коммутационные перенапряжения, снижающие надежность обмотки. При работе двигателя в условиях химически агрессивной среды происходит разрушение изоляционных материалов и ухудшению качества смазки подшипниковых узлов.

Всего 10-12% двигателей выходят из строя в результате процессов износа и старения. Асинхронный двигатель – изделие ремонтируемое. Однако при отказе обмотки статора, требующем полной ее пе-

ремонтки, стоимость ремонта примерно равна стоимости изготовления нового электродвигателя.

Значительная часть отказов приходится на обмотку статора АД. Поэтому в статье мы рассматриваем математическую модель, связанную с наработками на отказ статорных обмоток, которая является описанием системы, функционирующей в условиях различного рода возмущений, т. е. в реальных условиях эксплуатации.

Задача исследования надежности системы формулируется как задача исследования вероятностных свойств параметров системы, когда по заданным вероятностным характеристикам случайных параметров элементов определяются вероятностные характеристики параметров системы. Полной вероятностной характеристикой случайной величины является ее функция распределения, которую будем моделировать [3–6].

Оценка параметров законов распределения отказов обмоток статоров по данным эксплуатации асинхронных двигателей в химической промышленности

Для оптимального управления любым производственным объектом очень важно иметь его математическую модель (ММ), характеризующую качественно и количественно реальный процесс поведения объекта под воздействием эксплуатационных факторов и описываемую с помощью того или иного адекватного математического аппарата. Математическая модель любых технических средств, в том числе АД в химической промышленности, строится по результатам статистических наблюдений. Отправным пунктом построения ММ оценки эксплуатационной надежности АД для химической промышленности должны быть согласующиеся с опытом эксплуатации допущения. В основе предлагаемой ММ лежат следующие допущения:

- считается, что наработки до отказа являются статистически независимыми;
- анализируемые объекты идентичны по устройству, назначению и условия эксплуатации относительно однородны;
- в качестве исходных данных для статистической обработки эксплуатационной информации применяются случайные наработки до отказов;
- для оценки и анализа эксплуатационной надежности в качестве основных вероятностей безотказной работы АД приняты функции распределения, которые адекватно сопоставляются с наработкой на отказ для электромеханических систем: нормальная, логарифмически-нормальная и функция распределения Вейбулла.

Опираясь на данные допущения, представляется возможным построить математическую модель, на базе которой можно дать строгое количественное описание процессов, влияющих на эксплуатационную надежность АД в химической промышленности. В качестве исходных данных ММ мы рассматриваем эксплуатационную информацию объемом N , содержащую наработки t_i ($i=1,2,\dots, N$), которые являются наработками до отказов первоначально работающих АД, а также двигателей, работавших после замен или восстановлений.

Для оценки надежности АД в химической промышленности по принятой информации может быть использован показатель вероятности безотказной работы $P(t)$. Эта функция обладает хорошей наглядностью, по ней легко определить остальные показатели надежности (функцию вероятности отказа $Q(t)$, среднюю наработку до отказа T_{cp} , интенсивность отказов $\lambda(t)$ и т. д.)

Под вероятностью безотказной работы АД понимается вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет. Вероятность безотказной работы является основной количественной характеристикой безотказности объекта на заданном временном интервале.

Разработанное программное средство позволяет оценить параметры для трех моделей надежности: Вейбулла, нормальной и логарифмически-нормальной.

Табл. 1. Параметры моделей надежности и коэффициенты корреляции

Закон распределения								
Вейбулла			Нормальный			Логнормальный		
η	β	r	σ	μ	r	σ	μ	r
2341	2,153	0,995	994	2005	0,994	0,567	7,558	0,994

Таблица 1 определяет результаты выбора закона распределения: коэффициенты r корреляции максимальны для нормального распределения, следовательно, для расчета надежности обмоток статоров асинхронных двигателей в химической промышленности принимаем нормальную модель надежности и плотность распределения времени до отказа в этом случае описывается кривой Гаусса [7]

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

а функция ВБР равна

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

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

$erf(x)$ – функция ошибок [7]:

$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt. \quad (3)$$

Средняя наработка до отказа для нормальной модели надежности совпадает с параметром T_{cp} .

После получения оценок параметров моделей надежности, рассчитываются границы доверительных интервалов для этих параметров с доверительной вероятностью α , равной 0,95.

Точность нормальной модели надежности оценивалась с помощью коэффициента корреляции Пирсона [6].

Результаты моделирования

На основании эксплуатационных наблюдений и результатов моделирования законов распределения отказов обмоток статоров при эксплуатации АД в химической промышленности на рис. 1 построена гистограмма и функция плотности распределения наработок на отказ обмоток статоров. Проведенные расчеты подтверждают, что отказы обмоток статоров для двигателей всех приводов подчиняются нормальному закону распределения, который в теории надежности считается теоретически наиболее обоснованным в тех случаях, когда надежность технического устройства определяется большим количеством факторов, среди которых нет явно доминирующих. Для обмоток статоров эти требования всегда выполняются. 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 обмоток статоров АД в химической промышленности. Функция вероятности безотказной работы, одна из основных показателей надежности, которые используются при проектировании, изготовлении, эксплуатации и совершенствовании системы технического обслуживания и ремонта АД, представлена на рис. 2.

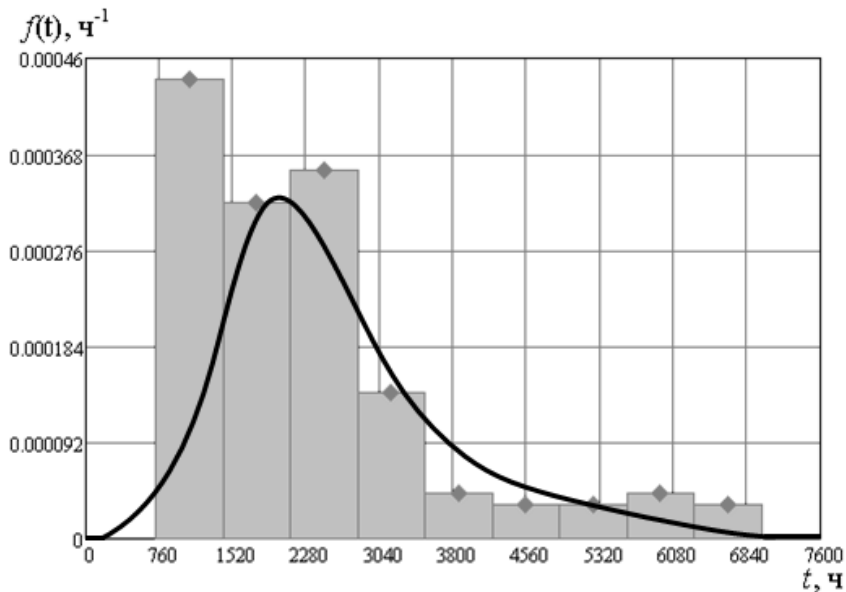


Рис. 1. Гистограмма и функция плотности распределений наработок на отказ обмоток статоров асинхронных двигателей в химической промышленности.

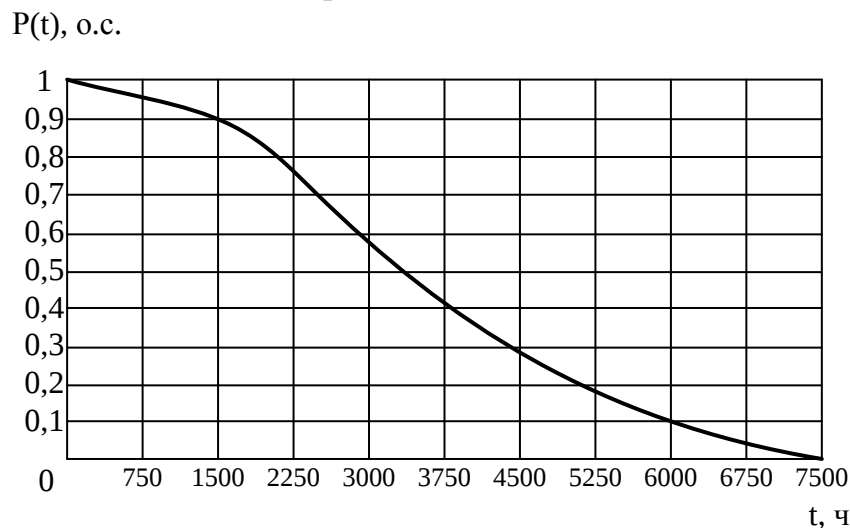


Рис. 2. Функция вероятности безотказной работы обмоток статоров асинхронных двигателей в химической промышленности

Выводы

1. Проведено моделирование эксплуатационной надежности обмоток статоров асинхронных двигателей в химической промышленности. Исходные данные для моделирования определены в процессе эксплуатации для всех приводов;
2. На основании рассмотрения трех моделей надежности (модель надежности Вейбулла, нормальная и логнормальная модели) для всех отказов обмоток статоров выбран нормальный закон распределения отказов;

3. Построены гистограммы и функции плотности распределения наработок на отказ обмоток статора, которые необходимы для определения показателей эксплуатационной надежности;
4. Получены фактические значения вероятности безотказной работы, которые наряду с наработкой на отказ определяют эксплуатационную надежность асинхронных двигателей в химической промышленности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Кузнецов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
2. Гольдберг О.Д. Качество и надежность асинхронных двигателей. – М.: Энергоиздат, 1968. – 176 с.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.: ил.
4. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин: Учеб. Пособие для вузов по спец. «Электро-механика». – М.: Высш. Шк., 1988. – 232с.: ил.
5. Горский Л.К. Статистические алгоритмы исследования надежности. – М.: Наука, 1970. – 400 с.
6. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

Научный руководитель: О.П. Муравлев, д.т.н., профессор каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ИСТОЧНИКЕ ПИТАНИЯ МАГНЕТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Е.С. Гордеев

Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.

Магнетронные генераторы малой мощности (до 1000 Вт) широко применяются в бытовых печах СВЧ нагрева, а также в промышленных электротехнологических установках с распределенным подводом СВЧ энергии [1]. Магнетроны для таких генераторов выпускаются крупными сериями рядом зарубежных фирм, в частности, LG,