

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Кортенко А.В., Усачева Т.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Проблема энергосбережения на сегодняшний день актуальна не только в России, но и в мире в целом. Данная проблема все больше обостряется в связи с увеличением стоимости энергоносителей. Из-за этого конкурентоспособность российской продукции в большей степени зависит именно от экономного расходования электроэнергии. На данный момент проектирование энергоэффективных электрических машин в России является первоочередной задачей энергосбережения страны в целом [1].

Энергосберегающие двигатели – это трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Кроме энергосбережения эти двигатели имеют: увеличенный срок службы обмотки за счет меньшей температурной нагрузки, позволяют выдерживать большие перегрузки в номинальном режиме.

Цель работы: на основе математической модели с сохраненной поперечной геометрии машины провести анализ изменения надежности при проектировании энергосберегающих асинхронных двигателей.

Этот путь моделирования энергосберегающих АД наиболее экономически целесообразен. Он не требует инвестиций на переоборудование производства. Данный способ проектирования вызывает дополнительный расход активных материалов при изготовлении АД, и при этом увеличивается стоимость машины, но возрастание стоимости АД компенсируется за счет меньших затрат на период эксплуатации, так же данные двигатели обладают повышенной надежностью.

Для анализа изменения надежности были произведены расчёты на основе математической модели (ММ) проектировании энергосберегающих асинхронных двигателей. Исходными параметрами модели являются - поперечная геометрия базовых машин: внешний и внутренний диаметры статора и пазовые зоны. Ограничивающим факторам расчета стали среднее превышение температуры обмотки статора и показатели качества: M_m^* – (2.59, о.е.) – кратность максимального вращающего момента, I_p^* – (6.2, о.е.) – кратность пускового тока, M_p^* – (1.43, о.е.) – кратность пускового вращающего момента. В скобках приведены допустимые значения показателей качества, которые удовлетворяют требованию ГОСТа [2].

В качестве выходных параметров математической модели приняты: КПД – η , коэффициент мощности – $\cos\varphi$, единичный показатель надежности. В качестве единичного показателя надежности принято увеличение срока службы изоляции $T_{сл}/T_0$. Математическая модель реализована в программной среде MathCAD.

Надёжность – один из основных показателей качества технического устройства на любом отрезке его «жизни» – от этапа проектирования до эксплуатации. Поэтому спроектированные энергоэффективные АД, наряду с энергетическими параметрами должны обладать повышенной надежностью и иметь более низкие показатели по уровню шума и вибрации.

Надёжность электрической машины – свойство машины выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования [3]. Надёжность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения машины и условий её эксплуатации может включать в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Срок службы – это показатель долговечности, а

его прогнозирование сводится к расчёту надёжности электрической машины (аналитическое прогнозирование).

Надёжность электрической машины в значительной степени определяется надёжностью обмоток, которая в свою очередь зависит от состояния изоляции. Изоляция работает в сложных, часто весьма неблагоприятных условиях. В процессе эксплуатации электрических машин, а также во время их хранения и транспортировки они подвергаются разнообразным внешним воздействиям, приводящим с течением времени к прогрессирующему ухудшению её свойств.

Среди различных факторов, определяющих срок службы изоляции электрических машин, одним из основных является старение изоляции под действием температуры. Поскольку нагревостойкость определяется скоростью старения изоляции в условиях повышенных температур, особое значение приобретают методы расчёта скорости старения и на этой основе – срока службы изоляции. [3]

Установлено опытным путем [4, 5], что для классов изоляции- выше А превышение температуры на каждые 10...12 °С сверх предельно допустимого превышения сокращает срок службы изоляции вдвое по отказу по старению. Может быть записано уравнение для любого класса нагревостойкости изоляции, которое носит эмпирический характер, однако позволяет достаточно точно оценить срок службы в случаях небольшого отрезка времени и небольшого диапазона изменения температуры [4, 5]:

$$\ln T_{cl} = \ln T_0 - n \cdot \Theta_i, \quad (1)$$

где T_0 - срок службы базовый, составляет 20000 ч. [6], Θ_i — фактическое значение превышения температуры обмотки статора над окружающей средой, n - коэффициент.

$$n = \frac{\ln 2}{\Delta \Theta}, \quad (2)$$

где $\Delta \Theta$ - превышение температуры сверх предельно допустимого значения для выбранного класса нагревостойкости, снижающее срок службы изоляции вдвое. Превышение температуры, при котором срок службы изоляции снижается вдвое для изоляционных материалов класса F ближе к 10 °С [4, 5].

Уравнению для определения разности температур базового и энергосберегающего АД:

$$\Delta \Theta_i = \theta_b - \theta_a, \quad (3)$$

где θ_a - температура энергосберегающего АД, θ_b - температура базового АД.

Для оценки изменения срока службы изоляции у спроектированных АД рассчитаем по следующей формуле:

$$T_{cl}/T_0 = e^{-(n \cdot \Delta \Theta_i) / \Theta_i} \quad (4)$$

Расчет производился для четырех полюсных АД общепромышленного назначения, для двигателей со следующими параметрами $2p=4$, $U_n=220$ В, $f=50$ Гц. В качестве базовых двигателей были выбраны машина серии АИР: АИР90L4, АИР100S4, АИР100L4, АИР112M4, АИР132S4, АИР132M4, АИР160S4, АИР160M4, т.е. взяты двигатели средней мощности от 2,2-18,5 кВт и высотой оси вращения от 90 до 160 мм.

В таблице 1 представлены данные изменении срока службы изоляции при использовании энергосберегающих АД при сохранении поперечной геометрии.

Таблица 1. Данные срока службы изоляции при использовании энергосберегающих АД

P_2 , кВт	l_δ , м	$\Delta\theta_i$, °C	T_{cl}/T_0 , о.е.	T_{cl} , часы	
АИР90L4	2,2	0,12	16,7	2,729	54590
АИР100S4	3,0	0,12	11,36	2,53	50600
АИР100L4	4,0	0,16	13,26	2,509	50180
АИР112M4	5,5	0,156	9,25	2	40000
АИР132S4	7,5	0,138	10,81	2,309	46190
АИР132M4	11,0	0,192	10,29	2,079	41580
АИР160S4	15,0	0,16	7,66	1,937	38740
АИР160M4	18,5	0,198	8,8	1,993	39860

На рисунке 10 представлена гистограмма увеличения изменение срока службы изоляции.

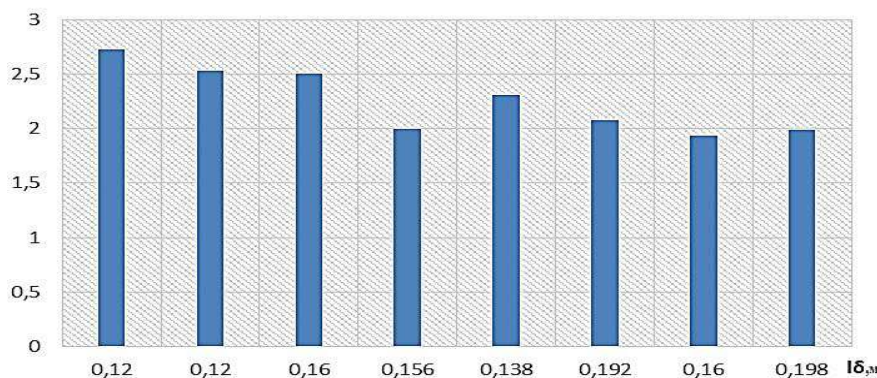


Рис. 1. Изменение срока службы изоляции при использовании энергосберегающих АД при сохранении поперечной геометрии

При реализации предложенного способа проектирования энергосберегающих АД снижение температуры обмотки статора над окружающей средой достигает $(8 \div 17)^\circ\text{C}$. За счет снижения температуры нагрева повысится срок службы изоляции спроектированных АД по сравнению с базовыми в среднем в 2,5 раза. При этом срок службы энергосберегающих АД составит для двигателей разных высот осей вращения от 38740 до 54590 часов.

Поводя итоги расчета, следует отметить, что энергосберегающий АД обладают не только лучшими показателями энергоэффективности, но и повышенной надежностью, более высоким сроком службы, что позволит повысить их конкурентоспособность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетическая стратегия России на период до 2020 г. // ТЭК. – 2003. – № 2. – С. 5–37.
2. ГОСТ Р 52776-2007 Машины электрические вращающиеся.
3. Воробьев В.Е., Кучер В.Я. Прогнозирование срока службы электрических машин: Письменные лекции. – СПб.: СЗТУ, 2004. Ермолин Н.П. Надежность электрических машин / Н. П. Ермолин, И. П. Жерихин. - Л.: Энергия, 1976. — 248 с.
4. Котеленец Н.Ф. Испытания и надежность электрических машин / Н. Ф. Котеленец, Н. Л. Кузнецов. - М.: Высшая школа, 1988. - 231
5. ГОСТ 8865-93. Система электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация.