

РАСЧЕТ ДОПУСКОВ НА ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЕ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ

О. П. МУРАВЛЕВ, А. Д. НЕМЦЕВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Качество асинхронных двигателей в значительной степени определяется равномерностью воздушного зазора. Неравномерность воздушного зазора ухудшает энергетические показатели и характеристики асинхронных двигателей, повышает уровень шума и вибрации, появляются магнитные неуравновешенные усилия. При неравномерном воздушном зазоре появляется возможность задевания ротора за внутреннюю поверхность статора, что приводит к существенному снижению надежности двигателей.

Несмотря на большое влияние, которое оказывает неравномерность воздушного зазора на качество и надежность асинхронных двигателей, величина ее в настоящее время практически не регламентируется. В 1971 г. принят ОСТ № 16.0688.091-71, который устанавливает допустимую неравномерность воздушного зазора для асинхронных двигателей в зависимости от числа полюсов [1]. За величину неравномерности воздушного зазора принимается эксцентриситет ротора относительно расточки статора.

Назначение допусков на размеры, на взаимное расположение поверхностей, которые влияют на величину эксцентриситета, проводится без учета допустимого значения эксцентриситета. Поэтому в данной статье предлагается научно обоснованная методика назначения допусков на параметры, влияющие на величину эксцентриситета, по заданному значению допустимого эксцентриситета.

Эксцентриситет ротора относительно статора является случайной величиной. Плотность распределения эксцентриситета имеет вид [2]:

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\sigma^2} \varepsilon \cdot e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где ε — величина эксцентриситета, σ — параметр распределения. Для этого распределения среднее значение эксцентриситета

$$\bar{\varepsilon} = 1,25\sigma.$$

Будем рассматривать следующие параметры, влияющие на эксцентриситет ротора относительно статора:

l_1 — несоосность замка подшипникового щита относительно расточки под подшипник, мм;

l_2 — несоосность замка станины относительно расточки статора, мм;

l_3 — бой поверхности ротора относительно посадочных мест под подшипники, мм;

$2\delta_p$ — поле допуска на диаметр ротора, мм;

Δ_p — смещение поля допуска на диаметр ротора относительно номинального значения, мм;

δ — воздушный зазор, мм;

δ_n — радиальный зазор подшипника в сборе, мм.

Величины l_1, l_2, l_3 являются случайными, плотность распределения их описывается выражением (1). Значение диаметра ротора и величины воздушного зазора подчиняются нормальному закону распределения, плотность распределения которого [2]

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где \bar{x} — среднее значение случайной величины, мм; σ — среднее квадратическое отклонение.

При расчете допусков для величин, распределенных по нормальному закону, обычно принимают $\delta_x = 3\sigma$. Для воздушного зазора половина поля допуска

$$\delta_c = \sqrt{\delta_p^2 + \delta_c^2}, \quad (4)$$

где δ_c — половина поля допуска на диаметр расточки статора, мм.

Величина диаметра расточки статора для асинхронных двигателей общепромышленного применения определяется в основном диаметром справки, на которой собирается сердечник пакета. Половина поля допуска на диаметр расточки статора определяется по допустимому износу оправки

$$\delta_c = \frac{\delta_d}{2}, \quad (5)$$

где δ_d — допустимый износ оправки, мм. Средний эксцентриситет ротора относительно расточки статора

$$\bar{\varepsilon} = \frac{K}{\delta_n} (\sqrt{l_1^2 + l_2^2} + l_3) + \frac{\delta_n}{\delta_n}, \quad (6)$$

где δ_n — номинальное значение воздушного зазора, мм, K — коэффициент, зависящий от допустимого уровня брака.

Определяется этот коэффициент следующим образом:

$$P(\varepsilon_i \geq \varepsilon_{i\text{доп}}) = \exp\left(-\frac{\varepsilon_{i\text{доп}}^2}{2\sigma_i^2}\right) = \frac{q}{100}, \quad (7)$$

после логарифмирования получаем

$$-\frac{\varepsilon_{i\text{доп}}^2}{2\sigma_i^2} = \ln \frac{q}{100}, \quad (8)$$

откуда находим,

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln \frac{q}{100}}} \cdot \varepsilon_{i\text{доп}}. \quad (9)$$

Учитывая выражение (2), получаем зависимость, связывающую среднее значение эксцентриситета с допустимым значением эксцентриситета

$$\bar{\varepsilon}_i = 1,25\sigma_i = \frac{1,25}{\sqrt{-2 \ln \frac{q}{100}}} \cdot \varepsilon_{i\text{доп}} = K \cdot \varepsilon_{i\text{доп}}. \quad (10)$$

В табл. 1 приведены значения коэффициента K для разных уровней допустимого брака.

Таблица 1

$q, \%$	0,3	0,5	10	2,0	5,0	10,0
K	0,368	0,394	0,425	0,448	0,514	0,823

Величины l_1 и l_2 образуют композицию двух законов распределения эксцентриситета и являются его статической составляющей $\varepsilon_{ст}$ со средним значением

$$\bar{\varepsilon}_{ст} = \frac{K}{\delta_n} \sqrt{l_1^2 + l_2^2}. \quad (11)$$

Бой поверхности ротора относительно посадочных мест под подшипники l_3 образует вращательный эксцентриситет $\varepsilon_{вр}$ со средним значением

$$\bar{\varepsilon}_{вр} = \frac{K}{\delta_n} \cdot l_3. \quad (12)$$

Рассмотрим подробнее выражение (6). Радиальный зазор подшипника δ_n зависит от начального радиального его зазора, от величины натягов при посадке внешнего кольца подшипника в щит и внутреннего кольца на вал. Все эти величины относительно малы, и для 1—6 габаритов асинхронных двигателей серии АО2 можно принять $\delta_n = 0,01$ мм. Вращающийся эксцентриситет $\varepsilon_{вр}$ желательно иметь как можно меньше, так как при вращении ротора всегда встретится худший случай расположения статического и вращательного эксцентриситета. Кроме того, с технологической точки зрения легче обеспечить допуск на бой ротора, чем на l_1 и l_2 .

Расчет значений l_1 , l_2 и l_3 можно вести или по заданному среднему значению эксцентриситета ротора относительно статора ε , тогда используется выражение (6), или по допустимому значению эксцентриситета

$$\varepsilon_{доп} = \frac{1}{\delta_n} (\sqrt{l_{1доп}^2 + l_{2доп}^2} + l_{3доп}) + \frac{\delta_n}{K \cdot \delta_n}. \quad (13)$$

В дальнейшем будем рассматривать расчет по уравнению (13). Считая δ_n известной величиной, получаем

$$\varepsilon'_{доп} = \varepsilon_{доп} - \frac{\delta_n}{K \delta_n} = \frac{1}{\delta_n} (\sqrt{l_{1доп}^2 + l_{2доп}^2} + l_{3доп}), \quad (14)$$

т. е. имеем одно уравнение с тремя неизвестными.

Назначить допустимые значения для l_1 , l_2 и l_3 можно различными способами:

1. Принимают для l_3 минимально возможное значение $l_{3доп}$, исходя из возможностей существующего оборудования, считают $l_{1доп} = l_{2доп}$ и тогда

$$l_{1доп} = l_{2доп} = \frac{\varepsilon'_{доп} \cdot \delta_n - l_{3доп}}{\sqrt{2}}. \quad (15)$$

2. Определяют допустимые значения по принципу равного влияния на $\varepsilon'_{доп}$. В этом случае

$$l_{1доп} = l_{2доп} = \frac{\sqrt{2} \varepsilon'_{доп} \cdot \delta_n}{3}; \quad (16)$$

$$l_{\text{доп}} = \frac{\varepsilon'_{\text{доп}} \cdot \delta_{\text{н}}}{3}.$$

3. В случае требования минимальной себестоимости обеспечения допустимых значений l_1 , l_2 и l_3 необходимо минимизировать функцию цели

$$C = \sum_{i=1}^m \varphi_i(l_{i\text{доп}}), \quad (17)$$

где $\varphi_i(l_{i\text{доп}})$ — зависимость себестоимости обеспечения i -го допустимого значения от величины $l_{i\text{доп}}$.

Последний способ наиболее перспективен, но в настоящее время его трудно реализовать из-за отсутствия зависимостей $\varphi_i(l_{i\text{доп}})$.

Назначение $l_{1\text{доп}}$, $l_{2\text{доп}}$ и $l_{3\text{доп}}$ рассматриваемыми выше способами целесообразно делать, когда проектируется технология изготовления двигателей. Если асинхронные двигатели выпускаются на существующем оборудовании завода, то имеются вполне определенные значения $l_{i\text{доп}}$, которые можно обеспечить на данном оборудовании. Если необходимо получить двигатели с меньшим значением эксцентриситета, то возможно два решения:

1. Модернизация или замена оборудования.
2. Браковка деталей с большим эксцентриситетом.

Первый способ требует обычно больших капитальных затрат, получения фондов на новое оборудование и не может быть реализован в короткие сроки. Второй способ может быть использован довольно быстро путем введения соответствующего контроля с отбраковкой деталей. Этот способ можно использовать когда необходимо изготовить относительно небольшое количество двигателей с небольшим допустимым эксцентриситетом, например, при выпуске высокоточных и экспортных двигателей. Оценить затраты на обеспечение допустимого эксцентриситета этим способом можно по выражению

$$C = \sum_{i=1}^3 \left(c_i \frac{N}{1-q_i} + c_{qi} \cdot q_i \frac{N}{1-q_i} \right), \quad (18)$$

где c_i — стоимость контроля i -й детали;

q_i — доля брака для i -й детали;

c_{qi} — стоимость одной бракованной i -й детали.

Таким образом, предложенная в настоящей работе методика расчета эксцентриситета позволяет обоснованно определить допуски на размеры, определяющие эксцентриситет, на стадии проектирования и наметить экономически целесообразный путь обеспечения заданного эксцентриситета для существующей технологии изготовления асинхронных двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОСТ № 16.0688.091-71. «Двигатели асинхронные трехфазные короткозамкнутые общего применения мощностью свыше 0,12 квт. Методы контроля неравномерности воздушного зазора».
2. Х. Б. Кордонский. Приложение теории вероятностей в инженерном деле. Л., Физматгиз, 1963.
3. О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий. Расчет допусков на параметры асинхронных двигателей. «Электротехника», 1968, № 11.