

**ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИИ  
НА КАЧЕСТВО АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

**Б. И. Бурштейн, О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий**

(Рекомендована научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

В целях быстрого повышения качества продукции в нашей стране введена государственная аттестация качества, при проведении которой основное внимание уделяется техническим характеристикам и стабильности качества. При аттестации продукции пересматриваются стандарты, устанавливаются научно обоснованные требования к качеству и разрабатываются методы объективного контроля уровня качества.

Существующие стандарты [1, 2] устанавливают допуски на выходные параметры асинхронных двигателей, но они не являются достаточно обоснованными и технологические погрешности при изготовлении асинхронных двигателей малой мощности значительно превышают установленные допуски [3]. Эти стандарты предусматривают при контрольных испытаниях измерение тока и мощности холостого хода и короткого замыкания. Однако при изготовлении асинхронных двигателей, например, на Пермском электротехническом заводе, из-за отсутствия достоверного правила пересчета параметров контрольных испытаний на параметры номинального режима приходится проводить испытания в номинальном режиме.

Для асинхронных двигателей выходными параметрами считаем пусковой и максимальный моменты, пусковой ток, номинальное скольжение, коэффициент полезного действия и коэффициент мощности, а входными — основные и локальные размеры и характеристики применяемых материалов (воздушный зазор, удельное сопротивление материала обмотки ротора, длины ротора и статора, число витков и т. д.).

Рассеивание выходных параметров и параметров контрольных испытаний обусловлено одной причиной: рассеиванием входных параметров, которое характеризует технологию изготовления. Используя это положение, нами разработаны методы расчета допусков на выходные параметры и методы определения допустимых значений параметров контрольных испытаний, которые учитывают реальные точностные показатели технологии и пригодны для оценки качества асинхронных двигателей при проектировании и производстве.

Уравнения для расчета допусков и рассеивания выходных параметров вероятностным методом имеют вид

$$\delta_{y_i}^2 = \sum_{j=1}^m c_{ij}^2 \delta_{x_j}^2, \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m,$$

где

- $\delta_{y_i}$  и  $\delta_{x_j}$  — половина поля допуска в процентах для выходных и входных параметров;  
 $p$  и  $m$  — число выходных и входных параметров;  
 $c_{ij}$  — коэффициент влияния  $j$ -го входного параметра на  $i$ -й выходной.

Расчет коэффициентов влияния для трехфазных машин подробно изложен в [4, 5], а формулы для расчета  $c_{ij}$  однофазных машин нами получены на основании имеющихся методик поверочного расчета и уточнены по опытным данным.

Расчет коэффициентов влияния проведен для 13 типоразмеров универсальных асинхронных двигателей серии УАД мощностью от 1 до 70 *вт*, а также конденсаторных двигателей АВЕ 0,71/4 и АВЕ 0,72/4 мощностью 180 и 270 *вт*.

Исследование универсальных двигателей представляет особый интерес, так позволяет произвести сравнение чувствительности выходных параметров к отклонениям входных в однофазном и трехфазном режимах.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов влияния входных параметров на пусковой момент для нескольких асинхронных двигателей: УАД 32(3) (трехфазный режим  $P=7$  *вт*), УАД 32(1) (однофазный режим  $P=4$  *вт*), АВЕ 071/4 ( $P=180$  *вт*) и АО 32-4 ( $P=1$  *квт*).

Таблица 1

Входной параметр	Тип двигателя			
	УАД 32(3)	УАД 32(1)	АВЕ 071(4)	АО 32-4
$w_1$	-1,134	1,251	2,032	-1,543
$d_{np}$	1,540	0,782	-0,092	0,904
$l_m$	-0,975	-0,401	-0,100	-0,634
$\rho_{\Delta 1}$	0,518	0,885	1,083	0,748
$\delta$	0,369	0,036	0,054	0,703
$l_1$	-0,097	-0,010	-0,013	-0,462
$l_2$	0,116	0,766	0,940	0,030
$z_2$	-0,505	-1,752	-2,380	-0,203
$x_c$	0,000	1,072	1,470	0,000

Сравнение коэффициентов влияния показывает, что в однофазном режиме выходные параметры более чувствительны к изменению удельного сопротивления обмотки ротора. Большой коэффициент влияния имеет рабочая емкость.

Значение  $\delta_{x_j}$  определяют точностные возможности технологии изготовления и для Пермского электротехнического завода приведены в [3].

В качестве примера в табл. 2 приведен расчет рассеивания пускового момента, пускового тока и скольжения для универсального двигателя УАД 32 в трехфазном и однофазном режимах.

На основании проведенных исследований по рассеиванию параметров можно заключить, что при мощностях меньше 50 *вт* существующая технология заливки роторов не может обеспечить рассеивания пускового момента и скольжения в допустимых стандартом пределах. В двигателях мощностью менее 10 *вт* возможен полный или неполный обрыв одного из стержней обмотки, что трудно контролировать, а вклад этого дефекта в рассеивание выходных параметров значителен. Отклонения величины емкости рабочего конденсатора от номинала оказывают существенное влияние на рассеивание пусковых параметров однофазных двигателей.

Определение допустимых значений параметров контрольных испытаний тесно связано с расчетом допусков на выходные параметры: ис-

пользуются те же самые коэффициенты влияния входных параметров на выходные  $c_{ij}$  и точностные показатели технологии  $\delta_{x_j}$ .

Отклонения параметров контрольных испытаний связаны с отклонениями входных параметров зависимостью

$$\Delta \bar{v} = F \Delta \bar{x}, \quad (2)$$

где  $\Delta \bar{v} = (\Delta I_o, \Delta P_o, \Delta I_K, \Delta P_K)$  — вектор отклонений параметров контрольных испытаний, составляющие которого являются отклонениями тока и потерь холостого хода и короткого замыкания при контрольных испытаниях;

$\Delta \bar{x} = (\Delta \rho_{Al}, \Delta (P_{ст} + P_{мех}), \Delta \delta, \Delta x_c)$  — вектор отклонений существенно влияющих входных параметров;

$F$  — матрица коэффициентов влияния входных параметров на параметры контрольных испытаний. Элементы этой матрицы  $f_{ij}$  определяются аналитически [4—6].

Т а б л и ц а 2

j	Выходной параметр	$c_{ij}^2 \delta_{x_j}^2$					
		трехфазный режим			однофазный режим		
		$M_{II}$	$I_{II}$	S	$M_{II}$	$I_{II}$	S
1	$w_1$	54	88,2	207	66,0	8,55	360
2	$d_{II}$	36,1	15,2	4,7	9,24	1,90	23,6
3	$l_m$	0,578	0,168	0,03	0,098	0	0,26
4	$\rho_{Al}$	157	60,6	585	460	12,0	585
5	$\delta$	47,0	2,55	0	0,45	0,76	2,68
6	$l_1$	0,038	0,002	0	0	0	0,02
7	$l_2$	0,026	0,268	1,56	1,12	0,06	2,00
8	$z_2$	39,8	105,8	704	479	13,8	865
9	$x_c$	0	0	0	115	29,7	0
	$\delta^2_{y_i} = \sum_{j=1}^m c_{ij}^2 \delta_{x_j}^2$	334,5	272,8	1502	1131	66,7	1838
	$\delta_{y_i}, \%$	18,3	16,5	38,8	33,4	8,15	42,9

Основываясь на том, что отклонения выходных параметров и параметров контрольных испытаний линейно зависят от одних и тех же сильно действующих входных параметров, нами разработан метод преобразования границ выходных параметров в границы контрольных испытаний.

Сущность этого метода состоит в определении пределов существенно влияющих входных параметров, при которых обеспечивается соответствие выходных параметров стандартным допускам. Затем по уравнению (2) определяются допустимые границы для параметров контрольных испытаний.

Достоинство этого метода состоит в том, что параметры контрольных испытаний могут быть рассчитаны на стадии проектирования двигателя с учетом особенностей конкретного производства.

Уравнения для определения допустимых значений входных параметров имеют вид

$$c_{i4} \Delta \rho_{Al} + c_{i5} \Delta \delta + c_{i9} \Delta x_c + c_{i10} \Delta (P_{ст} + P_{мех}) = \Delta y_i \pm \delta_i, \quad (3)$$

где

$$\delta_i = \sqrt{c_{i1}^2 \delta_{w_1}^2 + c_{i2}^2 \delta_{d_{np}}^2 + c_{i3}^2 \delta_{I_m}^2 + c_{i6}^2 \delta_{I_2}^2 + c_{i7}^2 \delta_{I_2}^2 + c_{i8}^2 \delta_{z_2}^2};$$

$\Delta u_i$  — стандартный допуск  $i$ -го входного параметра;

$\delta_i$  — половина поля рассеивания слабо влияющих входных параметров. Знак  $\delta_i$  берется обратным знаком  $\Delta u_i$ .

Для ряда универсальных и конденсаторных асинхронных двигателей малой мощности были рассчитаны зоны. Проверка применимости этих зон была осуществлена на Пермском электротехническом заводе и дала положительные результаты. Было установлено, что для двигателей в однофазном режиме при контрольных испытаниях можно измерять только токи холостого хода и короткого замыкания, а универсальные асинхронные двигатели достаточно испытывать в одном каком-либо режиме.

На рис. 1 представлены зоны допустимых значений тока холостого хода и тока короткого замыкания для универсального двигателя УАД 32.

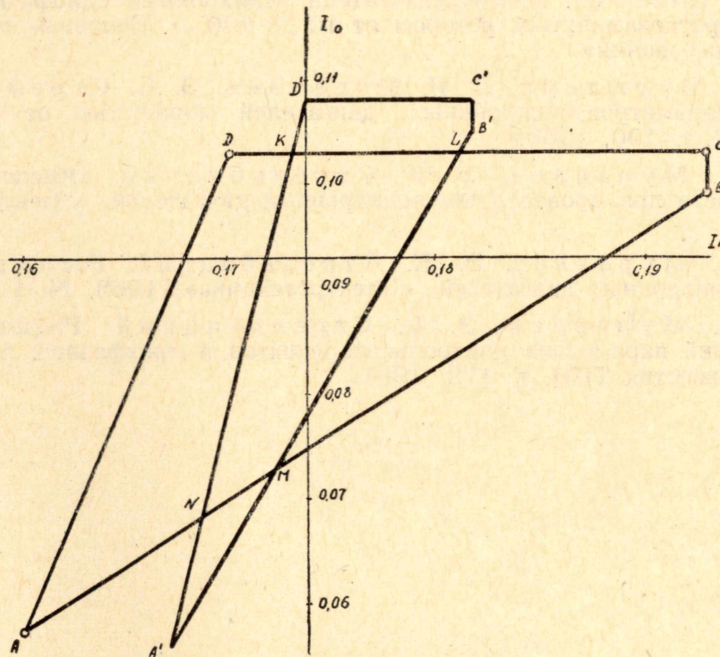


Рис. 1

Многоугольник ABCD ограничивает зону допустимых значений контрольных параметров для трехфазного режима, а многоугольник A'B'C'D' — для однофазного. Для однофазного режима откладывается ток

$$I_{k(1)} = I_{k(1)} + \Delta, \quad (4)$$

где

$I_{k(1)}$  — ток короткого замыкания в однофазном режиме, измеренный при контрольных испытаниях

$$\Delta = I_{kr(3)} - I_{kr(1)};$$

$I_{kr(3)}$  — расчетный ток короткого замыкания в трехфазном режиме;

$I_{kr(1)}$  — расчетный ток короткого замыкания в однофазном режиме.

Многоугольник KLMN определяет зону для двигателей, удовлетворяющих требованиям однофазного и трехфазного режимов.

Таким образом, рассеивание выходных параметров и допустимые значения параметров контрольных испытаний могут быть рассчитаны на стадии проектирования асинхронных двигателей на основе точностных показателей предполагаемой технологии их изготовления.

Сравнение полей рассеивания выходных параметров с допусками по ГОСТ 183-66 показывает, что стандартные допуски при существующей технологии обеспечить невозможно.

Результаты исследований позволили разработать научный подход к построению зон допустимых значений параметров контрольных испытаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 183—66. «Электрические машины. Общие технические требования».
2. ГОСТ 10799—64. «Электродвигатели асинхронные однофазные конденсаторные с короткозамкнутым ротором от 10 до 400 *вт*. Основные параметры и технические требования».
3. Б. И. Бурштейн, О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий. Рассеивание параметров асинхронных двигателей мощностью от 1 до 70 *вт*. Известия ТПИ, т. 190, 1968.
4. О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий. Обеспечение необходимой точности при производстве асинхронных двигателей. «Электротехника», 1966, № 7.
5. О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий. Расчет допусков на параметры асинхронных двигателей. «Электротехника», 1968, № 11.
6. О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий. Расчет зон допустимых значений параметров контрольных испытаний трехфазных асинхронных двигателей. Известия ТПИ, т. 172, 1967.