

РАСЧЕТ ПЕРЕГРЕВА ОБМОТКИ СТАТОРА ПРИ  
ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПТИМАЛЬНОГО АСИНХРОННОГО  
ДВИГАТЕЛЯ

Д. И. Санников, В. А. Жадан

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

При проектировании оптимального асинхронного двигателя с использованием ЭЦВМ превышение температуры обмотки статора, являющееся одним из лимитеров, обычно определяется по распространенной формуле

$$\theta_{M1} = \frac{P_{гр}}{S_0 \alpha_0}, \quad (1)$$

где  $P_{гр}$  — греющие потери,  
 $S_0 = \pi D_j l + 0,5 \pi D_j^2$  —

площадь поверхности активной части,

$D_j$  и  $l$  — наружный диаметр и длина статора,

$\alpha_0$  — условный коэффициент теплоотдачи, равный плотности теплового потока через единицу поверхности  $S_0$ , отнесенной к одному градусу среднего перегрева обмотки статора. Формула (1) и коэффициент  $\alpha_0$ , строго говоря, не соответствуют физической картине теплоотвода от двигателя, однако относительная стабильность  $\alpha_0$  при изменении размеров и потерь двигателя в обычных пределах позволяет выбирать его значение на основании опытных данных по нагреву существующих машин и пользоваться формулой (1) для расчета нагрева вновь проектируемых двигателей.

Однако изменение параметров системы охлаждения в новом двигателе существенно влияет на коэффициент  $\alpha_0$ . Поэтому для возможности проектирования необходим расчетный метод определения  $\alpha_0$  с учетом этих изменений до испытаний опытного образца нового двигателя.

На основании (1)

$$\alpha_0 = \frac{P_{гр}}{\theta_{M1} S_0}. \quad (3)$$

В закрытых обдуваемых асинхронных двигателях перегрев обмотки складывается из перепадов температуры на участках, через которые последовательно проходит тепловой поток от обмотки к окружающему воздуху. Тепловое сопротивление этого пути можно разделить на внешнее, зависящее от условий охлаждения оболочки, и внутреннее, не зависящее. На основании обычной методики теплового расчета выражение (3) приводится к виду

$$\alpha_0 = \frac{1}{\rho_1 + \rho_2}, \quad (4)$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  соответственно внешнее и внутреннее удельные тепловые сопротивления

$$\rho_1 = \left(1 + \frac{D_j}{2l}\right) \frac{1 + \partial_{ст}}{\alpha_{\Sigma} \left(C_0 + \frac{C_1}{l}\right)}, \quad (5)$$

$$\rho_2 = \left(1 + \frac{D_j}{2l}\right) \left[ k_{\Delta} \rho_{\Delta} + k_F \left(\rho_j + \frac{\rho_z}{3}\right) + k_M \left(\rho_{и} + \rho_M \frac{l}{l + l_L}\right) \right]. \quad (6)$$

Здесь  $\alpha_{\Sigma}$  — коэффициент теплоотдачи корпуса;

$C_0$  и  $C_1$  — параметры, зависящие от конструкции корпуса;

$\partial_{ст}$  — относительное увеличение сопротивления за счет неравномерности нагрева станины, составляющее в среднем 7%

$$k_{\Delta} = \frac{P_{\Delta}}{P_{гр}}, \quad k_F = \frac{P_F}{P_{гр}}, \quad k_M = \frac{P_{M1}}{P_{гр}}. \quad (7)$$

Здесь  $P_{\Delta}$  и  $P_F$  — тепловые потоки через стык между статором и станиной и через сердечник статора.

$P_{M1}$  — потери в обмотке статора.

Греющие потери  $P_{гр}$  в данной методике для закрытых двигателей принимаются равными суммарным потерям без  $2/3$  механических потерь, причем добавочные потери берутся равными 2% от потребляемой мощности.

$\rho_{\Delta}$ ,  $\rho_j$ ,  $\rho_z$ ,  $\rho_{и}$ ,  $\rho_M$  — удельные тепловые сопротивления стыка статора со станиной, спинки, зубцов статора, изоляции обмотка в пазовой части и проводников обмотки в продольном направлении; общее выражение

$$\rho = R \pi D_j l, \quad (8)$$

$R$  — тепловое сопротивление соответствующего участка согласно методике теплового расчета.

При проектировании двигателя первоначально выбирается наружный диаметр статора  $D_j$ , а длина  $l$  и остальные размеры активной части определяются в ходе проектирования. Поэтому зная  $D_j$  и приблизительно определив длину вылета лобовых частей, можно до начала электромагнитного расчета разработать конструкцию корпуса и определить те из размеров станины, которые не зависят от  $l$ , а также размеры подшипникового щита:

$D_{ст}$  — наружный диаметр станины по основанию ребер,

$N_p$  и  $N_{p'}$  — число нормальных и укороченных ребер с высотой соответственно  $h_p$  и  $h_{p'}$ ,

$b_0$  и  $b_{ср}$  — ширина ребер у основания и посредине высоты,

$N_{и}$  и  $N_L$  — число продольных приливов на станине и лап,

$h_{щ}$  — вылет щита,

$\Delta l = L_{ст} - l_p$  — выбирается в зависимости от вылета лобовых частей, пока длина станины  $L_{ст}$  и статора  $l$  неизвестны,

$\partial l_p = L_{ст} - l_p$ , где  $l_p$  — средняя длина ребра.

После этого конструируется вентилятор и кожух и из вентиляционного расчета определяется скорость охлаждающего воздуха  $V_p$ , которая позволяет рассчитать коэффициент теплоотдачи корпуса  $\alpha_{\Sigma}$ , а затем — коэффициент эффективности ребер  $k_p$ . Расчет коэффициентов  $C_0$  и  $C_1$  производится по следующим формулам:

$$\partial L = 0,5 D_{ст} + h_{щ}, \quad (9)$$

$$P_{p'} = 1,95 (N_p h_p + N_{p'} h_{p'}) k_p, \quad (10)$$

$$\partial\Pi = 2(N_{\pi} + 0,8N_{\pi})h_p - (N_p + N_p')b_0, \quad (11)$$

$$k_c = \frac{1}{D_j} \left( D_{ст} + \frac{\partial\Pi + \Pi_p'}{\pi} \right), \quad (12)$$

$$L' = -\frac{1}{D_j} \left( D_{ст} \partial L - \frac{\Pi_p' \partial l_p}{\pi} \right), \quad (13)$$

$$C_0 = 0,615k_c - 0,385 \frac{L'}{D_{ст}}, \quad (14)$$

$$C_1 = k_c \Delta l + L' + 0,385(D_{ст} - \Delta l) \left( k_c + \frac{L'}{D_{ст}} \right). \quad (15)$$

Согласно (4—6)  $\alpha_0$  является функцией от неизвестного размера  $l$ , однако примеры расчета показывают, что данная зависимость выражена очень слабо. Так, при изменении  $l$  на 25%  $\alpha_0$  меняется не более чем на 2,5%. Поэтому при расчете  $\alpha_0$  можно предварительно задаваться длиной  $l$  с точностью  $\pm 10\%$ .

Точно так же изменение в достаточно широких пределах ( $\pm 25\%$ ) таких параметров, как высота спинки статора и ширина зубца при соответствующем перераспределении удельных нагрузок или без него, приводит к изменению  $\alpha_0$  в пределах 1,5—5%. В несколько большей степени влияет перераспределение потерь без изменения геометрии активной части.

Таким образом, неточности при предварительном выборе коэффициентов  $k$  и  $\rho$  мало влияют на результат расчета. Рекомендуемые значения указанных коэффициентов для закрытых асинхронных двигателей малой мощности даны в табл. 1 в зависимости от числа полюсов. Использование данных значений приводит к упрощенной формуле

$$\alpha_0 = \frac{1}{\left(1 + \frac{D_j}{2l}\right) \left[ \frac{1,07}{\alpha_{\Sigma}(C_0 + C_1/l)} + A + BD_j \right]}. \quad (16)$$

Коэффициенты  $A$  и  $B$  даны в табл. 1.

Таблица 1

**Средние значения коэффициентов в выражениях (6) и (16)  
для двигателей 1—4 габаритов серии АО2 и АО4**

Число полюсов	2	4	6	8
$k_{\Delta}$	0,68	0,74	0,78	0,81
$k_F$	0,62	0,68	0,72	0,76
$k_M$	0,36	0,39	0,42	0,46
$\rho_{\Delta}/D_j, \frac{\text{град см}^2}{\text{вт}}$	0,41	0,41	0,41	0,41
$\rho_j/D_j$	0,34	0,25	0,17	0,17
$\rho_z/D_j$	1,14	0,82	0,82	0,82
$\rho_{\pi}$	42	28	28	28
$\frac{\rho_M l}{(1+l_{\pi})D_j}$	0,83	0,50	0,34	0,24
$A$	15,1	10,9	11,7	12,9
$B, \frac{1}{\text{см}}$	1,02	0,85	0,78	0,78

## Результаты теплового расчета двигателей и их сравнение с опытом

Тип двигателя	Серия АО2					АО4	
	31-2	32-4	42-2	42-4	41-8	112-М4	132-М4
$\alpha_0 \cdot 10^3$ ,							
<i>вт/см<sup>2</sup>град</i>	9,20	8,70	9,40	8,83	6,75	9,97	10,80
$Q_{м1}$ , град расчет	6,46	60,3	69,1	57,3	63,9	72,0	73,0
опыт	63,3	56,8	68,8	58,4	62,1	65,0	74,5
$\Delta\Theta_{м}$ , град	+1,3	+3,5	+0,3	-1,1	+1,8	+7,0	-1,5
» %	+2,0	+6,0	0	-2,0	+3,0	+11,0	-2,0

Из табл. 2 видно, что результаты расчета по формуле (16) имеют расхождение с опытом  $\Delta\Theta_{м}$ , допустимое для приближенных расчетов.

Таким образом, предлагаемая методика может быть использована при подготовке исходных данных для проектирования асинхронных двигателей на ЭЦВМ.

В целях повышения точности расчет отдельных коэффициентов  $k$  и  $\rho$  вычисление  $\alpha_0$  можно включить в программу для вычислительной машины.