

**УЧЕТ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТЕПЛОТДАЧИ ПО ДЛИНЕ
РЕБРИСТОГО ОБДУВАЕМОГО КОРПУСА**

Д. И. САННИКОВ, В. А. ЖАДАН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Исследования теплоотдачи ребристых обдуваемых корпусов электрических машин [2, 3, 4, 5] показывают, что изменение коэффициентов теплоотдачи по длине станины имеет довольно сложный характер. Однако для удобства расчетов его можно аппроксимировать по возможности простым выражением. Наиболее приемлемым для данного случая является экспоненциальный закон распределения теплоотдачи

$$\alpha = \alpha_m e^{-\frac{x}{L}}, \quad (1)$$

где L — постоянная экспоненты, которая может быть названа «длиной затухания теплоотдачи»;

x — расстояние от начала пути охлаждающего потока (от края станины);

α_m — максимальное значение коэффициента теплоотдачи при $x = 0$.

Длина затухания теплоотдачи L может быть получена из опыта. Однако результаты измерения коэффициентов теплоотдачи с помощью α -датчиков упрощенного типа [5] не могут служить основой для определения L . Длину затухания теплоотдачи можно определить на основе опытного распределения температуры по длине станины. Для этой цели достаточно охарактеризовать распределение по длине станины двумя параметрами: средней температурой станины Θ_0 и полуразностью температур концов станины $\Delta\tau$.

Метод расчета заключается в следующем: задаваясь различными значениями L , то есть характером распределения теплоотдачи по длине станины, выполняем расчет распределения температуры вдоль нее каким-либо численным методом. В качестве действительного значения L берем то, при котором $\Delta\tau/\Theta_0$ совпадает с опытом.

Рассматриваем станину как теплопроводящий стержень, к которому подводится тепловой поток, имеющий симметричное параболическое распределение, и отводится тепло в соответствии с экспоненциальным законом распределения коэффициента теплоотдачи. В качестве примера приведем результаты расчета для двигателей А02-42-4. Станина была разбита на 12 участков по длине из соображений достаточной точности расчета. Для каждого участка были рассчитаны: тепловая проводимость к внешнему воздуху, приток тепла и продольное тепловое сопротивление. Результаты расчета сведены в табл. 1.

Здесь же приведено среднее опытное значение $\Delta\tau/\theta_0$ по результатам тепловых испытаний 8 двигателей АО2-42-4 в установившемся тепловом режиме при номинальной нагрузке. Интерполяция расчетной

Таблица 1

L/D_{cm}	0,9	1,0	1,1	1,2	Опыт
$\frac{\Delta\tau}{\theta_0}, \%$	28,0	26,5	23,3	21,5	25,0

кривой $\Delta\tau = f\left(\frac{L}{D_{cm}}\right)$ позволяет определить, что $\Delta\tau = 25\%$ соответствует $\frac{L}{D_{cm}} = 1,02$. Расчеты показали, что при изменении распределения теплового потока по длине найденное значение $\frac{L}{D_{cm}}$ практически не меняется. Численное значение отношения $\frac{L}{D_{cm}}$, полученное для двигателей АО2-42-4, подтверждается и для других двигателей с подобной геометрией воздухопровода и оребрения.

Таким образом, зная L , можно рассчитать зависимость общей тепловой проводимости «корпус—среда» от длины станины. При этом предполагается, что средний коэффициент теплоотдачи каждого щита равен коэффициенту теплоотдачи прилегающего участка станины

$$G_0 = \frac{S_{щ}}{2} \alpha_m + \int_0^{L_{cm}} \Pi_a \alpha_m e^{-\frac{x}{L}} dx + \frac{S_{щ}}{2} \alpha_m e^{-\frac{L_{cm}}{L}} =$$

$$= \alpha_m \left[S_{щ} \frac{1 + e^{-\frac{L_{cm}}{L}}}{2} + \Pi_a L_{cm} \frac{L}{L_{cm}} \left(1 - e^{-\frac{L_{cm}}{L}}\right) \right]. \quad (2)$$

Здесь $S_{щ}$ — суммарная поверхность охлаждения подшипниковых щитов, Π_a — периметр поверхности теплоотдачи станины, L_{cm} — длина станины.

Полная поверхность охлаждения корпуса

$$S_{\Sigma} = S_{щ} + \Pi_a L_{cm}. \quad (3)$$

Введем следующие обозначения для относительных размеров корпуса:

$$l_{щ} = \frac{S_{щ}}{D_{cm} \Pi_a}, \quad (4)$$

$$\frac{L_{cm}}{D_{cm}} = 1 + \frac{L_{cm} - D_{cm}}{D_{cm}} = 1 + y, \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{D_{cm}}{L}. \quad (6)$$

Выразив (1) и (2) через относительные величины (4) — (6), получим

$$D_0 = \alpha_m \Pi_a D_{cm} \left[l_{щ} \frac{1 + e^{-\gamma(1+y)}}{2} + \frac{1 - e^{-\gamma(1+y)}}{\gamma} \right], \quad (7)$$

$$S_{\Sigma} = \prod_a D_{cm} (1 + l_{ш} + y). \quad (8)$$

Среднее значение коэффициента теплоотдачи

$$\alpha_{ср} = \frac{G_0}{S_{\Sigma}} = \frac{\alpha_m}{1 + l_{ш} + y} \left[l_{ш} \frac{1 + e^{-\gamma(1+y)}}{2} + \frac{1 - e^{-\gamma(1+y)}}{\gamma} \right]. \quad (9)$$

Изменение среднего коэффициента теплоотдачи в зависимости от длины машины в тепловом расчете [1, 6] можно учесть с помощью коэффициента, который назовем «коэффициент длины» κ_l . Коэффициент длины κ_l представляет собой отношение среднего коэффициента теплоотдачи для «единичной машины» $\alpha_{ср 1}$, у которой длина станины равна диаметру $L_{cm} = D_{cm}$ (то есть $y=0$), к среднему коэффициенту теплоотдачи для машины с произвольной длиной станины

$$\kappa_l = \frac{\frac{1}{1 + l_{ш}} \left(l_{ш} \frac{1 + e^{-\gamma}}{2} + \frac{1 - e^{-\gamma}}{\gamma} \right)}{\frac{1}{1 + l_{ш} + y} \left[l_{ш} \frac{1 + e^{-\gamma(1+y)}}{2} + \frac{1 - e^{-\gamma(1+y)}}{\gamma} \right]}. \quad (10)$$

Разложив $\kappa_l = f(y)$ в ряд Маклорена, получим

$$\kappa_l = \kappa_l(0) + \frac{d\kappa_l(0)}{dy} \cdot \frac{y}{1!} + \dots \quad (11)$$

При $y=0$ $\kappa_l(0) = 1$

$$\frac{d\kappa_l(0)}{dy} = \frac{1}{1 + l_{ш}} - \frac{e^{-\gamma} \left(1 - \frac{\gamma l}{2} \right)}{\frac{1 - e^{-\gamma}}{\gamma} + l_{ш} \frac{1 + e^{-\gamma}}{2}}. \quad (12)$$

Поскольку известно, что $\frac{L}{D_{cm}} = \frac{1}{\gamma} = 1,02$, то

$$\frac{d\kappa_l(0)}{dy} = 0,375$$

и

$$\kappa_l = 1 + 0,375y = 1 + 0,375 \left(\frac{L_{cm}}{D_{cm}} - 1 \right). \quad (13)$$

Погрешность формулы (13) по сравнению с точной формулой (10) не превышает 1,5% при изменении L_{cm}/D_{cm} в пределах 0,7—1,5, которые охватывают практически все возможные варианты выполнения асинхронных двигателей единой серии.

Опытная проверка формулы (13) была проведена на тепловой модели двигателя АО2-4 габарита. В данном опыте длина станины изменялась в пределах $0,8 \leq \frac{L_{cm}}{D_{cm}} \leq 1,19$; мощность нагревателей была подобрана таким образом, чтобы плотность теплового потока по длине оставалась постоянной во всех опытах. Результаты расчетов и опытов приведены в табл. 2.

Таким образом, расхождение расчетных значений по (13) с опытными не превышает 0,5%.

Формула (13) учитывает влияние длины станины на средний коэффициент теплоотдачи $\alpha_{ср}$ посредством коэффициента длины κ_l . Однако на распределение теплоотдачи по длине оказывают влияние еще и такие факторы, как длина закрытой части междуреберного канала

l_k/D_{cm} и сечение кольцевого канала между станиной и кожухом S_l/D_{cm}^2 . Результаты испытаний тепловой модели двигателя АО2-42-4 с различной длиной закрытой части канала l_k/D_{cm} показаны на рис. 1. Увеличение длины кожуха на 10% приводит к уменьшению перегрева

Таблица 2

Величина	Размерность	1	2	3
L_{cm}	мм	269	231	183
$\frac{L_{cm}}{D_{cm}}$	—	1,19	1,02	0,81
$P_{гр}$	вт	1000	850	700
θ_0	град	30,5	27,3	24,5
G	вт/град	32,8	31,1	28,6
κ_l'	—	1,07	1,00	0,93
κ_l'' , расчет	—	1,075	1,00	0,925
расхождение	%	-0,43	0	+0,54

корпуса на 1,6°C, однако дальнейшее увеличение l_k до половины длины станины приводит к дополнительному уменьшению перегрева всего на

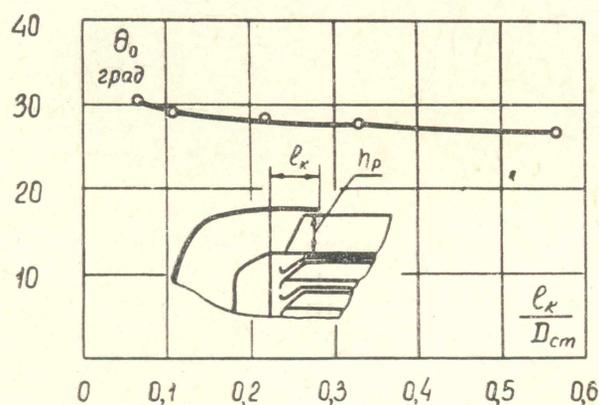


Рис. 1.

1°C; уменьшение длины l_k всего на 4% длины станины уже приводит к увеличению среднего перегрева корпуса на 1°C вследствие увеличения рассеивания воздуха. Данный эксперимент позволяет сделать вывод о том, что увеличение l_k/D_{cm} мало влияет на улучшение теплоотдачи корпуса. Поэтому можно рекомендовать

$$l_k/D_{cm} = 0,15 - 0,20.$$

Другой величиной, оказывающей существенное влияние на распределение скорости воздуха и локальных коэффициентов теплоотдачи по длине междуреберных каналов, является сечение кольцевого канала между станиной и кожухом S_l/D_{cm}^2 или относительная высота ребра h_p/D_{cm} . С этой целью были проведены тепловые и вентиляционные испытания на тепловой модели двигателя АО4-132М-4 при широком варьировании h_p/D_{cm} . Результаты испытаний показаны на рис. 2. Установлено, что существует оптимальное значение h_p/D_{cm} , равное 0,1, при котором средний коэффициент теплоотдачи корпуса имеет максимум. Здесь

же приведен график составляющей коэффициента длины K_l'' , зависящей от h_p/D_{cm} , которая хорошо аппроксимируется выражением

$$K_l'' = 0,82 + \frac{0,2}{10 \frac{h_p}{D_{cm}} + 0,1} \quad (14)$$

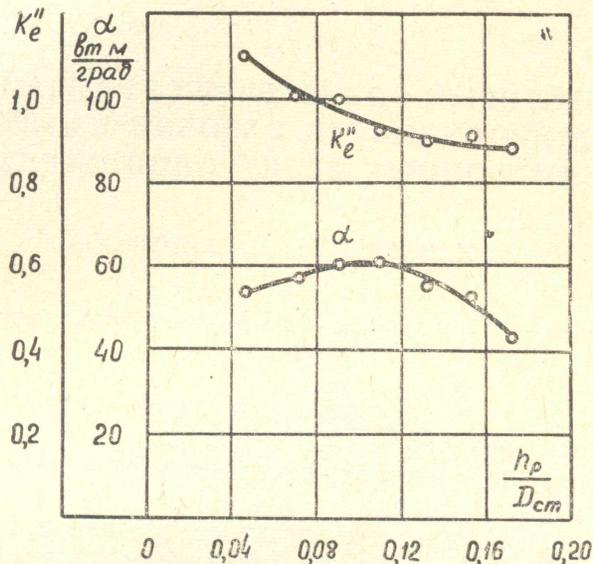


Рис. 2.

Таким образом, выражение для коэффициента длины с учетом (14) принимает вид

$$K_l = \left[1 + 0,375 \left(\frac{L_{cm}}{D_{cm}} - 1 \right) \right] \left(0,82 + \frac{0,2}{10 \frac{h_p}{D_{cm}} + 0,1} \right) \quad (15)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Постников. Проектирование электрических машин. Гостехиздат УССР, 1960.
2. Г. Г. Счастливый, Я. Б. Тубис. Теплоотдача ребристых станин электродвигателей серии А010-го габарита. «Электротехника», 1964, № 8.
3. Е. Б. Ковалев, А. Т. Токаренко, А. Н. Бурковский. Исследование обребрения корпусов электродвигателей серии ВАО. «Электротехника», 1964, № 12.
4. Е. Б. Ковалев, А. Н. Бурковский, А. Т. Токаренко. Теплоотдача в междуреберных каналах корпусов закрытых электрических машин. «Электротехника». 1965, № 11.
5. В. А. Жадан, Ю. В. Копылов, Д. И. Санников. Исследование распределения теплоотдачи по обдуваемой поверхности корпуса асинхронного двигателя. «Известия ТПИ», т. 172, 1967.
6. В. А. Жадан, Ю. В. Копылов, Д. И. Санников. Методика теплового расчета закрытых асинхронных двигателей малой мощности. «Известия ТПИ», т. 212 (в печати).