

**КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕПЛОТДАЧИ ЯКОРЯ МАШИН
ПОСТОЯННОГО ТОКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

Р. Я. КЛЯИН, Д. И. САННИКОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Опытное определение коэффициентов теплоотдачи якоря производилось на экспериментальной установке [1], в состав которой в качестве испытуемого объекта входил макет двигателя.

Макет выполнен на базе машины постоянного тока серии П. Особенность конструкции его состоит в том, что вместо обмотки якоря, как источника тепла, в активную и лобовые части встроены нагреватели в виде спиралей из нихромовой проволоки. Нагреватель активной части встроен в стальной цилиндр, имитирующий сердечник якоря. Нагреватели лобовых частей располагаются на обмоткодержателях. Коллектор представлен полным медным цилиндром с нагревателем на внутренней поверхности.

Указанные элементы якоря изолированы друг от друга теплоизоляционными прокладками для устранения теплообмена между ними.

Бифилярная намотка полюсных катушек позволила избежать дополнительных источников тепла в массивных деталях конструкции.

Питание нагревателей осуществлялось постоянным током через контактные кольца.

Такая конструкция якоря макета обеспечивает возможность регулирования и измерения мощности источников тепла в каждом элементе независимо друг от друга. Причем мощность на нагревателях и полюсных катушках устанавливалась так, чтобы перегрев элементов якоря был одинаков, или, по крайней мере, различия незначительны [2]. Такое условие опыта позволило свести до минимума влияние теплообмена между полюсами и якорем и между элементами якоря в установившемся режиме.

Расход охлаждающего воздуха изменяется с помощью вспомогательного вентилятора, перегрев определялся по термопарам, встроенным на поверхности элементов якоря.

Известно, что на процесс теплоотдачи электрической машины влияет множество факторов, не равнозначных по своей роли. В нашу задачу входило изучение влияния важнейших из них, таких как окружная скорость якоря, аксиальная скорость воздушного потока, различие теплоотдачи в машинах, различающихся по типоразмерам при прочих равных условиях, а также влияние площади сечения междуполюсных каналов.

С этой целью испытаниям были подвергнуты три макета машин 1, 3, 5 габаритов с высотой оси вращения соответственно 112, 150 и

180 мм. В двух последних площадь междуполюсного канала изменялась за счет различной полноты полюсных катушек.

Исследование трех типоразмеров машин позволяет распространить результаты опытов с достаточным основанием на весь отрезок серии П 1-6 габаритов.

Коэффициенты теплоотдачи определялись по [1]. Характер влияния окружающей скорости v_a якоря на коэффициент

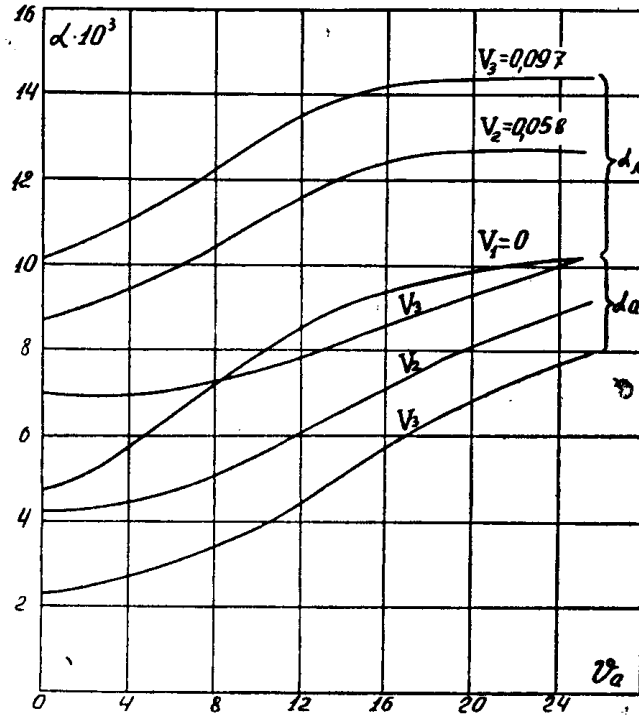


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплоотдачи активной и лобовой частей от окружающей скорости якоря

теплоотдачи L показан на рис. 1 на примере макета 5-го габарита в виде зависимостей

$\alpha_a = f(v_a)$ — коэффициента теплоотдачи активной части якоря [$вт/см^2 \cdot ^\circ C$],

$\alpha_l = f(v_a)$ — коэффициента теплоотдачи лобовой части якоря при различном значении расхода охлаждающего воздуха.

Результаты исследования влияния аксиальной скорости воздуха v_p на коэффициент теплоотдачи элементов якоря представлены на рисунках 2—4 для макета одного типоразмера $H = 180$. Для других макетов характер зависимостей $\alpha = f(v_p)$ аналогичен. Выборочные данные по остальным макетам приведены в табл. № 1. Здесь v_p — скорость воздуха в междуполюсном канале определяется из соотношения

$$v_p = \frac{V}{S_k}, \quad (1)$$

где S_k — площадь поперечного сечения междуполюсного канала, $м^2$,
 $v_{рл}$ — скорость воздуха в камере над лобовыми частями, $м/сек$.

$$v_{рл} = \sqrt{\frac{V^2}{S_k \cdot S_{к.л}}}, \quad (2)$$

$S_{кл}$ — площадь сечения камеры над лобовыми частями;
 $v_{рк}$ — скорость воздуха в камере над коллектором

$$v_{рк} = \frac{V}{S_{кл}} \quad (3)$$

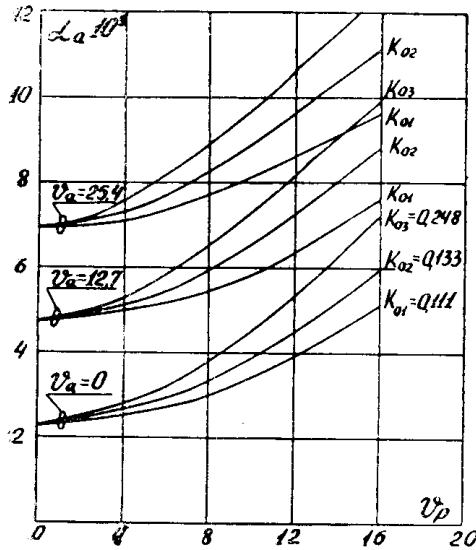


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи активной части якоря от скорости воздуха в междуполюсных каналах

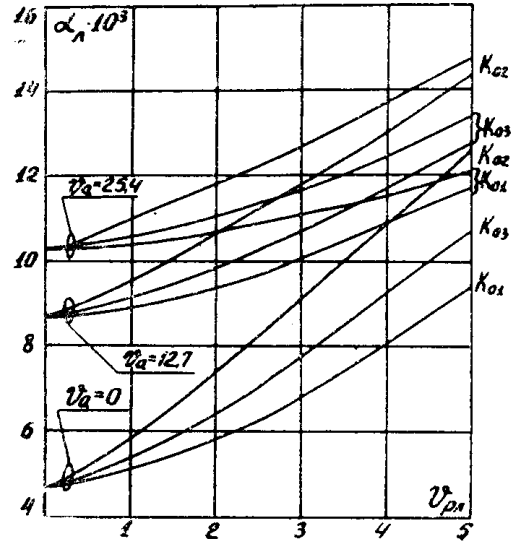


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи лобовой части от скорости воздуха в камере над лобовыми частями

Величина междуполюсного канала учитывается коэффициентом окна K_0

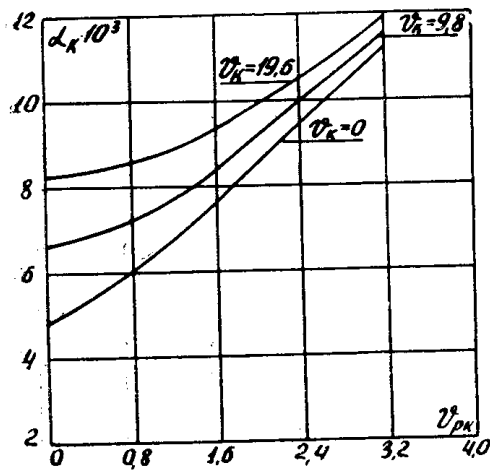


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи коллектора от скорости воздуха в камере над коллектором

$$K_0 = \frac{4 \cdot S_k}{\pi (D_{ст.в}^2 - D_a^2)} \quad (4)$$

здесь $D_{ст.в}$ — внутренний диаметр станины,

D_a — диаметр якоря.

Для аппроксимации опытных зависимостей $\alpha = f(v_a)$ и $\alpha = f(v_p)$ выбрана формула следующего вида

$$\alpha = (\alpha_0^{1/f} + A \cdot v_a^m + B \cdot v_p^k)^f \quad (5)$$

где α_0 — коэффициент теплоотдачи при $v_a = 0$ и $v_p = 0$.

Второй член суммы учитывает влияние окружной скорости якоря при $v_p = 0$. Коэффициент A зависит от окружной скорости и от диаметра якоря.

Третий член суммы учитывает влияние аксиальной скорости воздуха. Коэффициент B является функцией от площади междуполюсного канала S_k , диаметра и окружной скорости.

Коэффициенты в формуле (5) были определены по условию минимального среднеквадратического расхождения с данными опыта.

Таблица 1

Тип	v_p (л, к) м/сек	$n = 0$			$n = 1500$ об/мин			$n = 3000$ об/мин		
		α_a	α_l	α_k	α_a	α_l	α_k	α_a	α_l	α_k
П12 $\kappa_0 = 0,274$ $D_a =$ $= 0,083$ м	0	2,3	4,7	4,8	3,2	7,6	5,4	4,6	11,3	6,4
	2		6,4	7,2		9,0	7,6		12,9	7,9
	4	3,45		10,5	3,8	11,7	10,7	5,0	15,4	11,0
	6		12,1			15,0			18,0	
	8	5,4			5,7			6,25		
	12	7,7			7,95		8,2			
П32 $\kappa_0 = 0,18$ $D_a =$ $= 0,12$ м	0	2,3	4,7	4,8	4,3	7,8	6,0	6,7	10,4	7,2
	2		5,7	7,7		8,1	8,1		10,8	8,5
	4	3,2	7,7	12,7	4,9	9,5	13,0	7,4	11,6	13,3
	6		10,1			12,0			13,1	
	10	5,9			7,6			9,3		
	14	8,6			10,2		11,6			
П32 $\kappa_0 =$ $= 0,278$	0	2,3	4,7	4,8	4,3	7,8	6,0	6,7	10,4	7,2
	2		6,3	7,7		8,6	8,1		11,5	8,5
	4	3,5	9,1	12,7	5,3	10,6	13,0	8,0	13,5	13,3
	6		12,0			13,1			15,6	
	10	6,9			9,0			10,8		
	14	9,8			11,8		13,2			

Для активной части

$$\alpha_a = \left(5,29 + \frac{0,206 v_a^2}{1 + 0,00314 v_a^2} + 6,28 \kappa_0^{0,98} v_p^{2,02} D_a^{-1,37} \frac{v_a}{1 + 0,0273 v_a} \right)^{0,5} \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

для лобовой части

$$\alpha_l = \left(13,24 + \frac{3,3 v_a^2 D_a^{-1,08}}{D^{-0,2} + 0,00353 v_a^2} + 1,13 \kappa_0^{0,75} v_{p,l}^{1,65} \frac{v_a}{1 + 0,0318 v_a} \right)^{0,6} \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

для коллектора

$$\alpha_k = \left(11,2 + \frac{0,169 v_k^2}{1 + 0,009 v_k^2} + 1,53 v_{p,k}^{1,55} D_k^{0,64} \frac{0,35 v_k + 3}{v_k} \right)^{0,65} \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

Погрешность аппроксимации характеризуется среднеквадратическим разбросом $\sigma = 3,6\%$.

Полученные формулы проверены по методике теплового расчета [3] на двигателях серии П2 с высотой оси вращения $H = 112$ мм и $H = 160$ мм.

Номинальные данные рассчитываемых двигателей:

Обозначения	П2 - 160		П2 - 112	
	$n = 1500$ об/мин	$n = 3000$	$n = 1500$	$n = 3000$
U [в]	220	440	220	440
I [а]	60	65	13,7	16,5

Результаты расчета сведены в табл. 2.

Принятые обозначения:

M_a ; M_l ; M_k — удельные внутренние тепловые сопротивления изоляции, приведенные к поверхности охлаждения активной, лобовой части и коллектора,

$\zeta_a, \zeta_{\Delta}, \zeta_K$ — долевые значения длин участков якоря,
 $\alpha_{aэ}, \alpha_{\Deltaэ}, \alpha_{Kэ}$ — эквивалентные коэффициенты теплоотдачи участков,
 K_p — коэффициент приведения потерь,
 $\alpha_{эя}$ — эквивалентный коэффициент теплоотдачи якоря,

Таблица 2

№ п.п.	Наименование	П2-160		П2-112	
		$n = 1500$ об/мин	$n = 3000$ об/мин	$n = 1500$ об/мин	$n = 3000$ об/мин
1	2	3	4	5	6
1.	V м ³ /сек	0,0407	0,082	0,018	0,036
2.	D_a см	16,2		10,6	
3.	D_K " "	12,5		8,0	
4.	v_a м/сек	12,7	25,4	8,3	16,6
5.	v_K " "	9,81	19,62	6,28	12,56
6.	v_p " "	6,3	12,7	2,86	5,72
7.	$v_{рл}$ " "	2,64	5,33	1,69	3,38
8.	$v_{рк}$ " "	1,1	2,23	1,0	2,0
9.	$\alpha_a \cdot 10^3$ вт/с.м ² .°С	6,092	10,86	4,686	7,739
10.	$\alpha_{\Delta} \cdot 10^3$ " "	10,68	17,52	9,36	15,8
11.	$\alpha_K \cdot 10^3$ " "	8,266	10,86	7,214	9,552
12.	$\alpha_{aэ} = \alpha_a/1 + M_a \alpha_a$	5,43	8,76	4,20	6,48
13.	$\alpha_{\Deltaэ} = \alpha_{\Delta}/1 + M_{\Delta} \alpha_{\Delta}$	8,8	12,98	7,89	12,0
14.	$\alpha_{Kэ} = \alpha_K/1 + M_K \alpha_K$	7,467	9,516	6,618	8,531
15.	ζ_a	0,45		0,5	
16.	ζ_{Δ}	0,35		0,375	
17.	ζ_K	0,2		0,125	
18.	K_p	1,042	1,11	1,027	1,07
19.	$\alpha_{эя}$	7,308	11,528	6,045	9,422
20.	$P_{я}$ вт	947,5	1470	352,3	663
21.	$P_{я}/S_{я} \cdot \alpha_{эя}$ °С	67,6	66,5	57,8	69,8
22.	θ_f " "	18,5	12,9	18,8	14,3
23.	$\theta_{я}$ " "	86,2	79,4	76,6	84,1
24.	$\theta_{я}$ (опыт) " "	81,5	80,3	77	79,5

$S_{я}$ — поверхность охлаждения якоря,
 $P_{я}$ — суммарные греющие потери в якоря,
 $\bar{\theta}_f$ — средний подогрев воздуха в машине,
 $\theta_{я}$ — превышение температуры якоря над окружающим воздухом.

Выводы

1. Получены опытные зависимости, учитывающие влияние на коэффициенты теплоотдачи следующих факторов: аксиальной скорости воздуха, окружной скорости якоря, площади междуполосных каналов, диаметров якоря и коллектора.

2. Аппроксимация опытных зависимостей

$$\alpha = f(v_a, v_p)$$

формулами вида (5) является приемлемой.

3. Полученные формулы могут применяться для теплового расчета машин постоянного тока серии П2 и новой серии П2 с диаметром якоря до 200 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. И. Санников, Р. Я. Кляйн, М. А. Санникова. Установки для исследования параметров теплопередачи в электрических машинах малой мощности. — Известия ТПИ, т. 212, Томск, 1971.

2. Р. Я. Кляйн, Д. И. Санников. Исследование коэффициентов теплоотдачи на макетах машин постоянного тока малой мощности. — Известия ТПИ, т. 211, изд-во ТГУ, Томск, 1970.

3. Д. И. Санников, Р. Я. Кляйн. Тепловой расчет машин постоянного тока защищенного исполнения серии П2. — Известия ТПИ, т. 242, Томск, 1972.