

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

Р. Я. КЛЯЙН, 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, разнился незначительно [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 окружной скорости v_a якоря на коэффициент

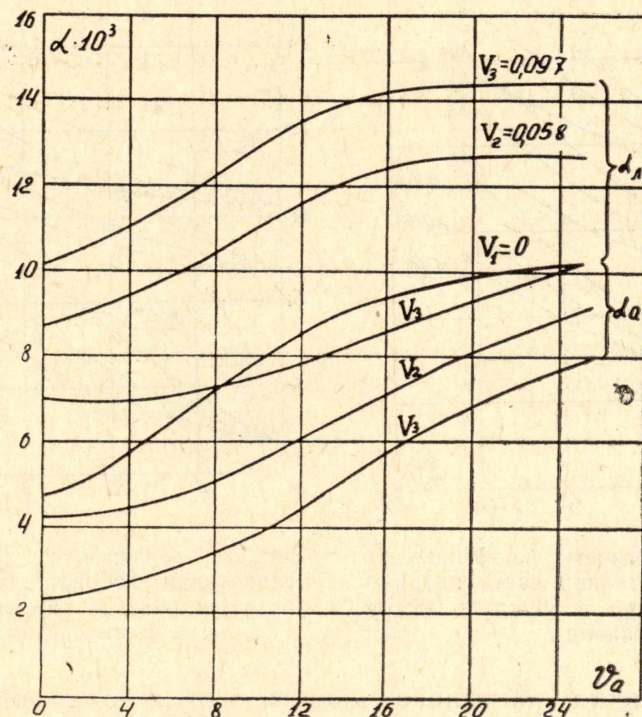


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплоотдачи активной и лобовой частей от окружной скорости якоря

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_{pl} — скорость воздуха в камере над лобовыми частями, $м/сек$.

$$v_{pl} = \sqrt{\frac{V^2}{S_k \cdot S_{kl}}}, \quad (2)$$

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

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

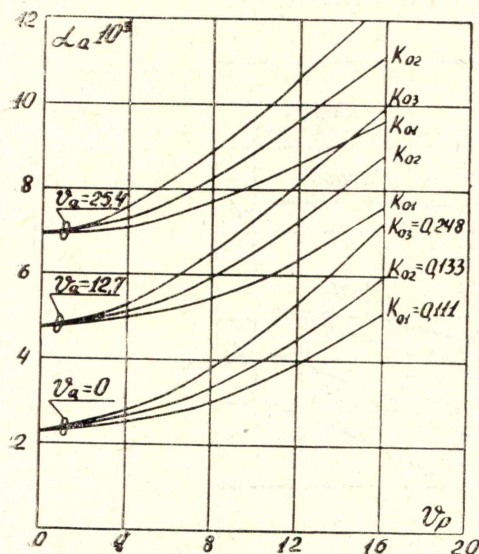


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи активной части якоря от скорости воздуха в междуполусных каналах

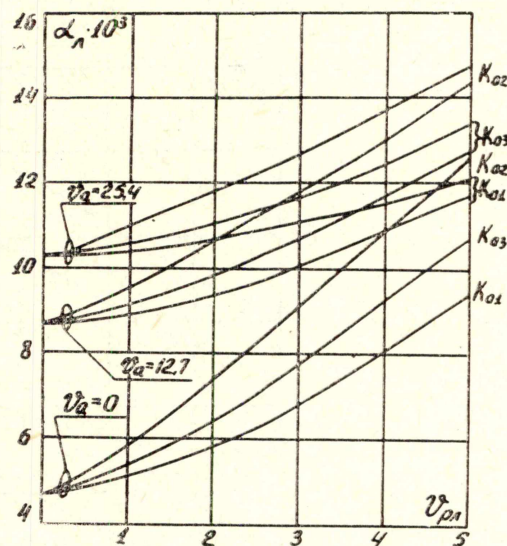


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи лобовой части от скорости воздуха в камере над лобовыми частями

Величина междуполусного канала учитывается коэффициентом окна K_0

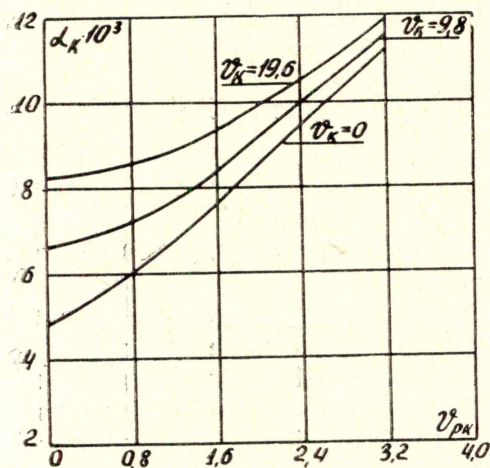


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи коллектора от скорости воздуха в камере над коллектором

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

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 междуполусного 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	9	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

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

для коллектора

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

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,

$\zeta_a, \zeta_d, \zeta_k$ — долевые значения длин участков якоря,
 $\alpha_{aэ}, \alpha_{лэ}, \alpha_{кэ}$ — 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/см ² ·°C	6,092	10,86	4,686	7,739
10.	$\alpha_d \cdot 10^3$ "	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.	$\alpha_{лэ} = \alpha_d/1 + M_d \alpha_d$	8,8	12,98	7,89	12,0
14.	$\alpha_{кэ} = \alpha_k/1 + M_k \alpha_k$	7,467	9,516	6,618	8,531
15.	ζ_a	0,45		0,5	
16.	ζ_d	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.	$P_{я}/S_{я} \cdot \alpha_{эя}$ °C	67,6	66,5	57,8	69,8
22.	θ_f "	18,6	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 якоре,

θ_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 междуполусных 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 П 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.