

## УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Д. И. Санников, Р. Я. Кляйн, М. А. Санникова

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

При экспериментальном исследовании нагрева и охлаждения электрических машин успешно используются различные модели, макеты и другие специальные установки для исследования отдельных элементов тепловой системы, позволяющие существенно упростить эксперимент, ограничить число влияющих факторов и более точно учитывать их влияние по сравнению с опытами на реальных машинах.

На кафедре электрических машин ТПИ созданы:

- 1) макет машины постоянного тока малой мощности для измерения коэффициентов теплоотдачи поверхности якоря,
- 2) установка для измерения теплопроводности изоляции обмоток.

Исследование теплоотдачи и теплопроводности на моделях преследует двоякую цель: во-первых, уточнение методик теплового расчета, во-вторых, разработку конструкций вновь проектируемых машин. Существующие методики теплового расчета машин малой мощности дают значительную погрешность в первую очередь потому, что они базируются на недостаточно полных опытных данных. По этой причине, например, коэффициент теплоотдачи якоря определяется, как правило, только в зависимости от окружной скорости, а остальные факторы, такие как размеры якоря, структура его поверхности, конфигурация междуполусных каналов и т. д., безусловно влияющие на теплоотдачу, не учитываются. Это затрудняет выбор конструкций и основных размеров при проектировании высокоиспользованных машин. Также совершенно недостаточными являются справочные данные по теплопроводности изоляции.

Измерение коэффициента теплоотдачи якоря на макете дает следующие преимущества по сравнению с испытаниями, проводимыми на реальных машинах:

1. Меньшая трудоемкость изготовления макета по сравнению с машиной, сравнительная простота изменения размеров в ходе опытов, возможность уменьшения теплостойкости в целях сокращения времени нагрева при опыте.

2. Простота измерений, которые заключаются в определении мощности нагревателей и температуры поверхности; отсутствие необходимости в датчиках со сложными измерительными схемами.

3. Более высокая точность измерения теплового потока по сравнению с реальной машиной ввиду того, что потери в стали и добавочные практически отсутствуют; легкость регулирования величины теплового потока с помощью нагревателей.

4. Большая точность измерения средней температуры поверхностей с помощью термопар ввиду большей равномерности нагрева.

5. Возможность раздельного исследования активной части, лобовых частей и коллектора при условии их теплоизоляции друг от друга.

Конструкция макета показана на рис. 1. Макет выполнен на базе двигателя серии П. Активная часть якоря представлена полым стальным цилиндром 1. На его поверхности профрезерованы канавки, имитирующие шлицы пазов реального якоря. К внутренней поверхности плотно

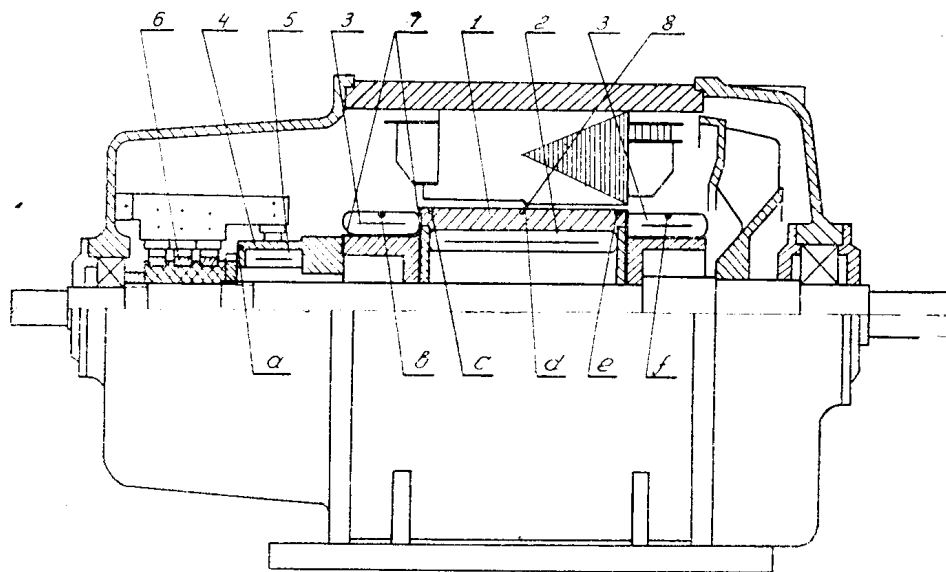


Рис. 1

прижат нагреватель 2 из нихромовой проволоки, намотанной тороидально на кольцевой каркас.

Лобовые части представлены в виде двух нагревателей 3, закрепленных на стальных обмоткодержателях с помощью бандажей. Макет коллектора выполнен в виде медного цилиндра 4 с гладкой поверхностью, внутри которого встроен нагреватель 5.

Питание нагревателей осуществляется постоянным током через контактные кольца 6, в качестве одного из колец используется также макет коллектора. Между отдельными частями макета поставлены теплоизолирующие прокладки 7, которые при незначительной разности температур этих частей, поддерживаемой в ходе опыта, практически устраняют теплообмен между ними. Конструкция макета позволяет легко производить замену деталей с целью изменения размеров. Обмотки полюсов являются бифилярными, индуктор размагничен. Модель приводится во вращение вспомогательным двигателем с регулируемой скоростью; предусмотрена возможность регулирования расхода охлаждающего воздуха.

Для измерения температуры служат медно-константановые термопары 8. В активную часть встроено 9 термопар, по три на образующих цилиндра, расположенных через  $120^\circ$ . В каждой лобовой части установлено 6 термопар под бандажом, на средней окружности через  $60^\circ$ . В коллекторе имеется 3 термопары. Концы термопар выводятся через канал в валу на приставной токосъемник. Тормозедс измеряется компенсатором. Характер распределения температуры в одном из режимов представлен в табл. 1. Средний перегрев активной части составляет  $50,0^\circ\text{C}$ ,

**Распределение температуры в макете якоря двигателя П32  
при 1500 об/мин**

Мощности нагревателей, вт			Распределение превышений температуры по позициям (рис. 1)					
Р <sub>а</sub>	Р <sub>л</sub>	Р <sub>к</sub>	а	б	с	д	е	ф
99,5	130	70						
Распределение превышений температуры по окружности якоря, °С			49,1	48,7	50,6	49,3	51,3	54,4
			48,5	54,4	51,3	49,3	48,4	43,8
			49,6	47,0	46,6	51,6	51,6	46,3
				44,0				51,6
				51,2				47,7
				53,7				48,1
Среднее превышение температуры по позициям термопар, °С			49,1	49,8	49,5	50,0	50,4	48,6
Температура окружающей среды — 25,5 °С.								

лобовых частей — 49,2°С, коллектора — 49,1°С. Таким образом, благодаря правильному подбору мощности нагревателей макет нагрет равномерно. Среднеквадратический разброс температур для активной части  $\sigma_a = 1,73^\circ\text{С}$ , или 3,5%, для лобовых частей  $\sigma_l = 3,8^\circ\text{С}$ , или 7,8%. Средняя абсолютная величина разброса соответственно составляет  $\eta_a = 1,42^\circ\text{С}$ ,  $\eta_l = 3,1^\circ\text{С}$ . В обоих случаях

$$\frac{\sigma}{\eta} = 1,22 \approx \sqrt{\frac{\pi}{2}},$$

поэтому закон распределения разброса может считаться нормальным. Среднеквадратическая ошибка в определении среднего превышения температуры составляет:

для активной части — 1,2%,

для лобовых частей — 2,2%.

Если учесть погрешность, вносимую токосъемником, измерительными приборами и термометрами, а также разброс характеристик термопар, возможные утечки тепла в макете и неточность определения площади поверхностей охлаждения, то среднеквадратическая ошибка определения коэффициентов теплоотдачи оценивается в 2,5—3,0%.

Величина коэффициента теплоотдачи для каждой из частей якоря определяется по формуле

$$\alpha = \frac{P}{S_{\text{охл}} \theta'},$$

где  $P$  — мощность соответствующего нагревателя,

$S_{\text{охл}}$  — поверхность охлаждения,

$$\theta' = \theta - \frac{1}{2} \Delta\theta_f,$$

$\theta$  — средняя температура поверхности,

$\Delta\theta_f = t_{\text{вых}} - t_{\text{окр}}$  — подогрев воздуха в машине.

Некоторые результаты измерения приведены в табл. 2.

**Определение коэффициентов теплоотдачи якоря  
двигателя ПЗ2 (диаметр якоря — 120 мм)**

Наименование величин	Обозначение	Скорость вращения	
		1500 об/мин	3000 об/мин
Мощность нагревателей, <i>вт</i>	$P_a$	99,5	199
	$P_{л}$	130	240
	$P_{к}$	70	100
Превышение температуры, <i>град</i>	$\theta_a$	49,8	55,6
	$\theta_{л}$	49,2	52,8
	$\theta_{к}$	49,1	54,9
Подогрев воздуха, <i>град</i>	$\Delta\theta_t$	10,5	14,5
Коэффициент теплоотдачи, <i>вт/град/м<sup>2</sup></i>	$\alpha_a$	49,3	91,2
	$\alpha_{л}$	76,2	135
	$\alpha_{к}$	88,1	116
Расход воздуха, <i>м<sup>3</sup>/сек</i>	$V_p$	0,0236	0,0472

Установка для измерения теплопроводности изоляции показана на рис. 2; она предназначена для исследования различных листовых изоляционных материалов и комбинированной многослойной изоляции пазов, обмоткодержателей, катушек и т. д. Ввиду небольшого размера испытуемых образцов (90x90 мм) установка пригодна для исследования изоляционных конструкций машин малой мощности.

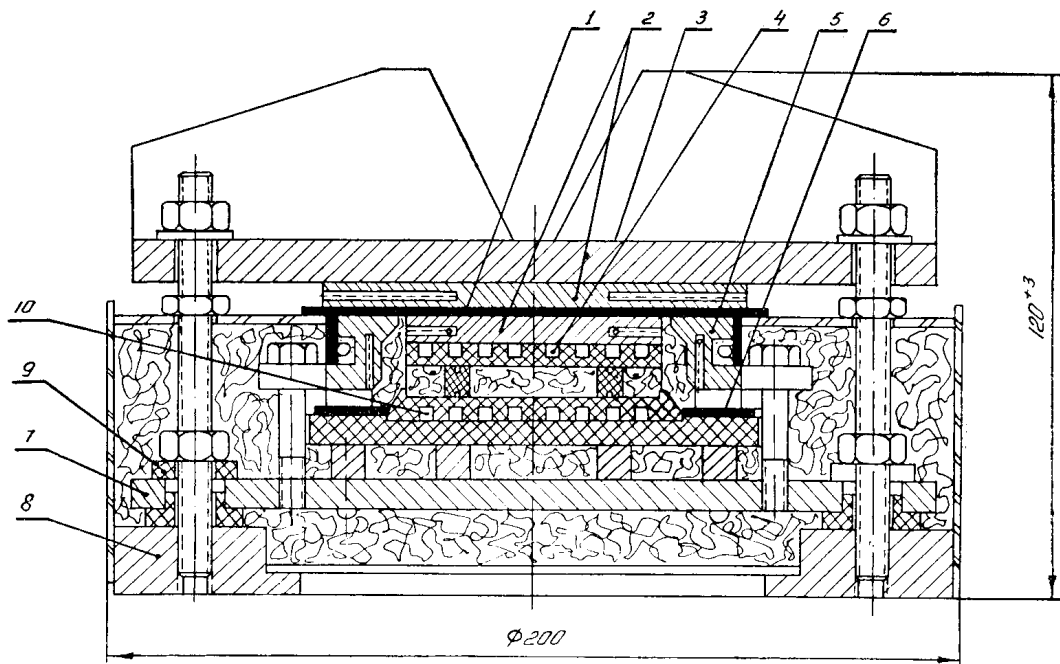


Рис. 2

Лист испытуемой изоляции 1 помещается между двумя латунными дисками 2, каждый из которых имеет четыре встроенные термопары. Верхний диск привинчен к крышке 3, имеющей ребра для охлаждения; крышка обдувается вентилятором. Под нижним диском находится главный нагреватель 4, представляющий собой спираль из нихрома в асбоцементном корпусе. Имеется экранирующее кольцо 5, снабженное нагревателем и четырьмя термопарами для контроля равенства температур с нижним диском 2. Оно установлено на упругой прокладке 6 из кремнийорганической резины и крепится винтами к пластине 7. Последняя отделена от основания 8 и крепящих шпилек текстолитовыми втулками и шайбами 9 для уменьшения утечки тепла. Нижний экранирующий нагреватель 10 разделяется с главным нагревателем изоляционной распоркой, в которой расположены попарно 8 термопар для контроля равенства температур между нагревателями. Все полости установки заполнены стеклянной ватой.

Использование воздушного охлаждения вместо обычно применяемого в подобных случаях водяного значительно упрощает установку.

Температура испытуемого образца изоляции и температурный перепад на нем находятся в пределах, характерных для условий работы изоляции в электрических машинах. Эти величины можно регулировать, изменяя мощность главного нагревателя и условия охлаждения крышки.

Для улучшения теплового контакта испытуемой изоляции с дисками их поверхность покрывается тонким слоем парафина.

Время нагревания установки от холодного состояния до установившейся температуры составляет около трех часов. В качестве примера в табл. 3 приведены результаты измерений, выполненных на миканиго-

Таблица 3

Место расположения термопар	Показания термопар в милливольтгах				
	1	2	3	4	среднее
Нижний диск (2)	1,67	1,71	1,70	1,70	1,70
Верхний диск (2)	1,15	1,20	1,12	1,14	1,15
Экранирующее кольцо (5)	1,65	1,72	1,72	1,64	1,68
Контрольные термопары между главным и экранирующим нагревателями	3,09	3,38	2,94	3,27	3,17
	3,50	3,21	3,05	3,04	3,20

вом образце толщиной  $=0,35$  мм. Как видно из таблицы, разброс показаний термопар каждой позиции невелик, в особенности для дисков 2, что наиболее важно для точности измерения; при этом условии термопары каждой позиции наиболее удобно соединить в термостолбик; мощности бокового и нижнего экранирующих нагревателей отрегулированы до минимальной разности показаний контрольных термопар. Мощность главного нагревателя  $P=11,0$  вт. Превышения температур нижнего диска —  $47,4^{\circ}\text{C}$ , верхнего диска —  $32,1^{\circ}\text{C}$ .

Температурный перепад на испытуемом образце  $\Delta\theta=47,4-32,1=15,3^{\circ}\text{C}$ . Площадь нижнего диска  $S=28,3$  см.

Таким образом, удельная теплопроводность для данного образца равна

$$\lambda = \frac{P \cdot \delta \cdot 10^{-1}}{S \cdot \Delta \theta} = 0,00089 \text{ вт/см град.}$$

Погрешность определения  $\lambda$  для данной установки составляет ориентировочно 5%. Второй вариант установки имеет нагреватели в металлических корпусах, благодаря чему значительно снижается неравномерность температурного поля между нагревателями и повышается точность настройки экранирующих нагревателей и измерения  $\lambda$  в целом.

Таким образом, описанные установки являются сравнительно простыми, удобными при использовании и обеспечивают достаточную точность теплофизических измерений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. М. Кондратьев. Тепловые измерения. Машгиз, 1957.
-