

## НАГРЕВАНИЕ И ОХЛАЖДЕНИЕ ТОРЦОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

А. Ф. ГРИЦЕНКО

(Рекомендована семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Несмотря на большие эксплуатационные и экономические преимущества торцовых коллекторов [1—5], они пока не нашли широкого применения, особенно в крупных машинах постоянного тока. Из-за ограниченной высоты профиля коллекторной меди в торцовом коллекторе не всегда удается получить такую же площадь контактной поверхности и поверхности теплоотдачи, как у цилиндрического коллектора. Приходится идти на увеличение плотности тока под щеткой. Это вызывает опасения у проектировщиков за надежность машины по коммутации и тепловым нагрузкам. В работе [6—9] показано, что увеличение плотности тока возможно и даже необходимо в машинах с цилиндрическими коллекторами для оптимальной работы скользящего контакта. Что касается торцовых коллекторов, то такая возможность повышения плотности тока с точки зрения надежности по коммутации имеется еще в большей мере [4]. Однако связанные с повышением плотности тока вопросы теплоотдачи торцового коллектора пока мало исследованы. В связи с этим в данной работе поставлена задача по исследованию охлаждения и нагрева торцовых коллекторов.

### Условия охлаждения торцовых коллекторов

Рассмотрим два наиболее распространенных способа охлаждения коллектора — при независимой системе вентиляции и самовентиляции электрической машины. При независимой системе вентиляции в большинстве случаев вход охлаждающего воздуха в коллекторную камеру осуществляется сбоку, т. е. в радиальном направлении. Для оценки степени обдуваемости коллектора были измерены максимальные скорости воздуха вблизи контактной поверхности в центральной точке каждого квадранта рабочей поверхности коллектора, ограниченного щетками. Измерения выполнялись с помощью трубки Пито и микроманометра на опытном тяговом двигателе ЭДТ-166 с торцовым коллектором при неподвижном якоре и на таком же тяговом электродвигателе с цилиндрическим коллектором. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Вход воздуха в коллекторную камеру осуществлялся со стороны 1-го и 4-го квадрантов. Расход воздуха в том и другом случае составлял 40 м<sup>3</sup>/мин.

Более высокие скорости воздуха вдоль рабочей поверхности торцового коллектора получаются за счет того, что при движении в кол-



Таблица 1

№ квадранта	1	2	3	4	Среднее значение
Скорость воздуха (м/сек) на торцовом коллекторе	9,3	5,9	7,3	13	8,9
Скорость воздуха (м/сек) на цилиндрическом коллекторе	7,8	4,6	0	5,63	4,5

лекторной камере охлаждающий воздух встречает на своем пути только щетки и вал. В электродвигателе с цилиндрическим коллектором охлаждающий воздух встречает на своем пути кроме щеток щеткодержатели и цилиндрическое тело коллектора, в результате скорость воздуха значительно теряется и со стороны, противоположной входу воздуха, цилиндрический коллектор обдувается слабо.

Следует заметить, что на опытном образце тягового электродвигателя еще не была отработана конструкция коллекторной камеры с точки зрения получения высоких скоростей обдувания коллектора, но такая возможность имеется за счет сокращения длины коллекторной камеры в осевом направлении.

При самовентиляции торцовый коллектор также находится в более благоприятных условиях в сравнении с цилиндрическим. Прежде чем попасть в вентиляционные каналы, якобы охлаждающий воздух проходит вдоль рабочей поверхности коллектора. В машине с цилиндрическим коллектором движение охлаждающего воздуха вдоль коллекторных пластин в осевом направлении затруднено, так как траверса, щеткодержатели и петушки коллектора препятствуют этому движению. Цилиндрический коллектор в основном охлаждается за счет захватывания воздуха цилиндрической поверхностью при ее вращении и продува воздуха через вентиляционные отверстия во втулке.

### Теплоотдача торцового коллектора

Теплоотвод от коллектора осуществляется через поверхность меди и втулки коллекторной, через поверхность щеток и щеткодержателей и за счет теплопроводности от коллектора к валу. Кроме того, наблюдается приток тепла от обмотки якоря к коллектору через ее соединения с коллектором. Учесть в опыте, какое количество тепла и по какому пути отводится или, наоборот, подводится к коллектору, представляет большие трудности. Поэтому чтобы оценить интенсивность теплоотдачи торцового коллектора, произведено сравнение условных коэффициентов теплоотдачи торцового коллектора и широко распространенного и более изученного цилиндрического коллектора. В данном случае под условным коэффициентом теплоотдачи понимается отношение суммы потерь на коллекторе от трения щеток и в щеточном контакте к произведению среднего значения превышения температуры рабочей поверхности коллектора над охлаждающим воздухом и площади поверхности меди, соприкасающейся с охлаждающим воздухом.

Опыт по определению коэффициентов теплоотдачи коллектора при самовентиляции машины производился на вспомогательных генераторах 2-машинного агрегата ВГ/ВГТ тепловоза ТЭ-3. На одном генераторе был установлен цилиндрический коллектор с миканитовыми манжетами, на другом, точно таком же, генераторе был установлен торцовый коллектор на пластмассе, описанный в [5]. Возбуждение на генераторах было отключено, коллекторные пластины замкнуты накоротко между собой, ток к щеткам подводился от низковольтного генератора постоянного тока. На каждом коллекторе установлены одинаковые



щетки и щеткодержатели с одинаковыми усилиями нажатия. Во время опыта устанавливались для аналогичных режимов генераторов одинаковые скорости вращения и токи.

Зависимости условных коэффициентов теплоотдачи коллекторов от средней линейной скорости рабочей поверхности коллектора представлены на рис. 1 кривой 1 — для торцового коллектора и кривой 2 — для цилиндрического. Из сравнения кривых можно видеть, что при одинаковых температурах коллекторов тепловые нагрузки на торцовый коллектор могут быть увеличены примерно в 1,5 раза относительно цилиндрического коллектора.

Более высокие значения коэффициентов теплоотдачи торцового коллектора объясняются кроме причин, описанных ранее, еще и тем, что у торцового коллектора длина цилиндрической поверхности на максимальном диаметре по меди из-за особенностей конструкции, в три раза больше, чем длина на таком же диаметре цилиндрической поверхности петушков цилиндрического коллектора. При более короткой длине вентиляционных каналов

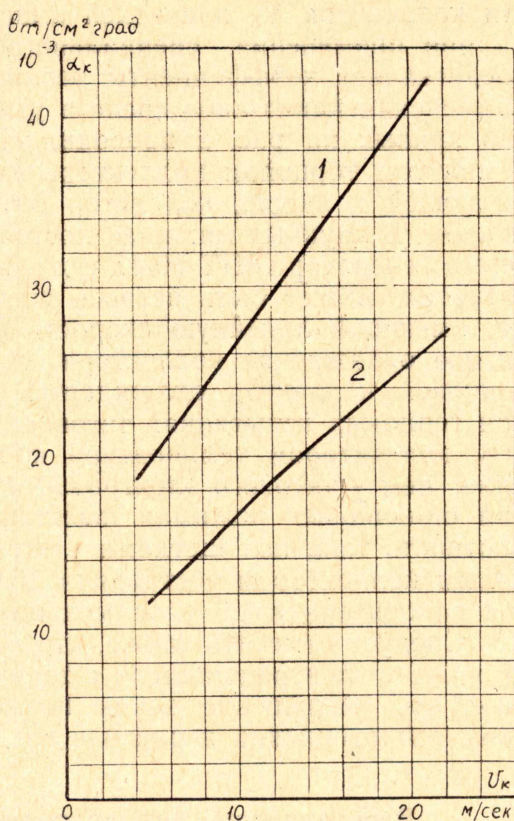


Рис. 1. Зависимость коэффициентов теплоотдачи от скорости коллектора при самовентиляции машины.  
1 — торцового коллектора.  
2 — цилиндрического коллектора.

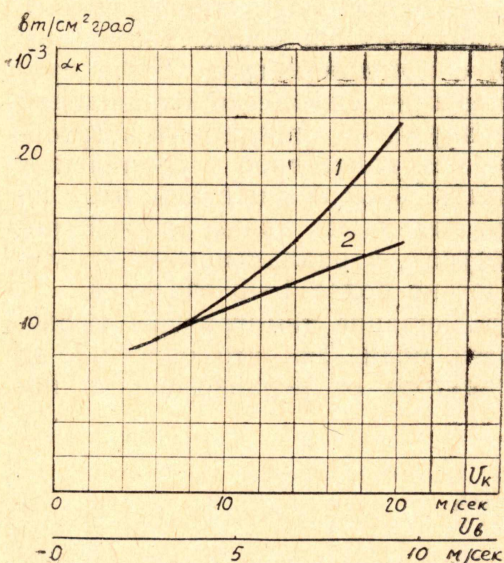


Рис. 2. Зависимость коэффициентов теплоотдачи от скорости торцового коллектора.  
1 — с вентилятором  
2 — без вентилятора.

торцового коллектора создается большой расход воздуха через якорь и, следовательно, коллектор относительно генератора с цилиндрическим коллектором, имеющего такой же вентилятор. Тонкий слой пластмассы на торцовом коллекторе обладает большой теплопроводностью от меди к втулке коллектора в сравнении со слоями воздуха в пространстве, где расположен миканитовый цилиндр в цилиндрическом коллекторе.

Большое усиление теплоотдачи происходит за счет применения в торцовом коллекторе специального вентилятора для охлаждения коллектора, установленного на втулке в пространстве между валом и внутренней границей медных пластин.

На рис. 2 кривая 1 представляет зависимость условных коэффициентов теплоотдачи от средней линейной скорости рабочей поверхно-



сти коллектора  $V_k$  и средней линейной скорости лопаток вентилятора  $V_v$  при применении специального вентилятора. Кривая 2 на рис. 2 представляет коэффициенты теплоотдачи торцового коллектора без применения каких-либо средств усиления охлаждения. Опыты при снятии кривых на рис. 2 проводились на отдельно вынесенном короткозамкнутом торцовом коллекторе диаметром 270 мм. Со стороны, прилегающей к якорю, коллектор был закрыт теплоизоляционным материалом. В крупных машинах постоянного тока, таких, например, как тяговый генератор МПТ 99/47 с диаметром якоря 990 мм при небольших затратах, может быть встроен специальный вентилятор для коллектора, имеющий линейную скорость 30—35 м/сек., что обеспечит интенсивное охлаждение коллектора. При независимой системе вентиляции торцовой коллектор охлаждается также интенсивно. Так, например, при тепловых испытаниях тягового электродвигателя ЭДТ-166 с торцовым коллектором температура коллектора оказалась даже несколько ниже, чем у тягового электродвигателя с цилиндрическим коллектором при одинаковых режимах испытаний. По указанным выше причинам плотность тока под щетками у этого тягового электродвигателя с торцовым коллектором составляла  $16,6 \text{ а/см}^2$ , площадь рабочей поверхности коллектора в 1,5 раза меньше, чем у цилиндрического.

Следует отметить также, что перегрев обмотки якоря был несколько ниже у электродвигателя с торцовым коллектором, очевидно, за счет того, что уменьшение длины коллектора сказалось на аэродинамическом сопротивлении и расходе воздуха через якорь.

#### Распределение температуры по поверхности коллектора

Неравномерное распределение контактных усилий по длине щетки [10], неравномерное распределение тока под щеткой, а также различие в условиях охлаждения поверхности торцового коллектора явились причиной проведения работ по измерению температуры рабочей поверхности коллектора.

Опыты проводились на отдельно вынесенном торцовом короткозамкнутом коллекторе. Измерение температуры выполнялось термопарами «медь-константан», установленными в радиальном направлении на плоскости коллектора, а также на цилиндрической части. Термопары соединялись через токосъемные кольца с потенциометром. Было проведено три тепловых режима с различными способами охлаждения коллектора: при независимой подаче воздуха, со специально встроенным вентилятором для коллектора и без каких-либо специальных средств усиления охлаждения. Результаты опытов показали, что, несмотря на различие в условиях работы отдельных точек рабочей поверхности контакта, разница в температурах, в радиальном направлении, на длине щетки в 44 мм составляет не более 1—3 градусов.

Такое относительно неплохое выравнивание температуры происходит за счет хорошей теплопроводности меди. Так что опасений за чрезмерные тепловые деформации коллектора от неравномерного нагревания не должно быть.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Е. Алексеев. Конструкция электрических машин. Госэнергоиздат, 1958.
2. М. Ф. Карасев. Конструкция коллекторных машин постоянного тока. Госэнергоиздат, 1961.
3. И. И. Туктаев. Динамика скользящего контакта. Известия вузов. Электромеханика, 1959, № 11.
4. В. И. Нэллин, И. И. Туктаев, Н. Д. Жарков. Применение



торцовых коллекторов и исследование работы плоского скользящего контакта. Труды ВНИИЭМ, т. XIX, Издательство «Энергия», 1965.

5. А. Ф. Гриценко. Торцовые коллекторы для крупных машин постоянного тока. Электромеханика, 1966, № 9.

6. Т. Г. Абарцумов, Е. М. Коварский, Г. И. Гершнович. О возможности повышения допустимой плотности тока под щетками. Вестник электропромышленности, 1958, № 10, 1.

7. В. П. Толкунов. О выборе величины плотности тока под щетками в машинах постоянного тока малой и средней мощности, Электричество, 1962, № 8.

8. П. С. Лившиц. Оптимальные режимы работы электрического скользящего контакта. Вестник электропромышленности, 1962, № 8.

9. А. Я. Глушкин, А. М. Бордаченков, В. П. Степанов. Работа щеточного контакта электрических машин при повышенной плотности тока. Электромеханика, 1963, № 9.

10. А. Ф. Гриценко. Износ щеток на торцовом коллекторе. Теория и практика коллекторных машин. Изд-во «Транспорт», 1965.