

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА АО

В. А. Жадан, Ю. В. Копылов, Д. И. Санников

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Исследование нагрева закрытых обдуваемых асинхронных двигателей проводилось на двигателях ныне выпускаемой серии АО2 и на опытных образцах двигателей серий D и АО4, имеющих высоту центров 132 мм, в номинальном режиме при установившемся нагреве.

Температурное поле испытуемых двигателей определялось с помощью медно-константановых термопар, заложенных в различные части двигателей. В обмотку статора закладывалось 40—60 термопар; в ротор — 10—20 термопар; в двигатель АО2-42-4 было заложено 12 термопар, позволяющих измерить перепад температуры в пазовой изоляции; перегрев поверхности спинки статора определялся в средней части его 12 термопарами, расположенными равномерно по окружности. Перегрев станины и подшипниковых щитов измерялся по 64 термопарам. Показания термопар ротора измерялись при вращающемся двигателе через токосъемное устройство. Места закладки термопар и температурные поля соответствующих двигателей приведены на рис. 1—3. Здесь приведены усредненные по окружности перегревы ротора, станины и подшипниковых щитов; перегревы обмотки статора усреднены по окружности статора и по высоте паза.

Объяснение характера кривых и расчет параметров, характеризующих разброс температуры между отдельными термопарами, заложенными в обмотку статора и станину, приведены в [2].

Наиболее нагретой частью двигателя является ротор. Температура по длине и окружности ротора меняется мало. В среднем ротор 4-полюсных машин нагрет больше статора на 25—30°С. Перепад в изоляции паза меняется по длине от 5 до 8°С, однако термопары, измеряющие температуру наружной поверхности изоляции, установлены так, что головки их могут вдавливаются в изоляцию. Поэтому перепад в пазовой изоляции в действительности в 1,15—1,25 раза больше.

В [2] отмечалось, что головки лобовых частей представляют собой монолитную конструкцию, которая имеет затрудненные условия охлаждения. Установка дистанционных прокладок между секциями позволяет воздуху свободно проходить в образованных при этом каналах и улучшает теплоотдачу лобовых частей. Так, в двигателе АО2-42-4 их средний перегрев уменьшается в результате на 2,8°С, или 4,4%; перегрев пазовой части обмотки статора уменьшается только на 0,8°С, или 1,4%.

Это показывает, что улучшение теплоотдачи от лобовых частей несколько уменьшает температуру обмотки в целом.

Если, наоборот, увеличить тепловое сопротивление от лобовых ча-

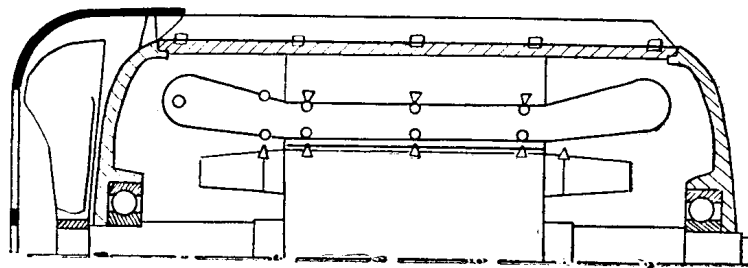
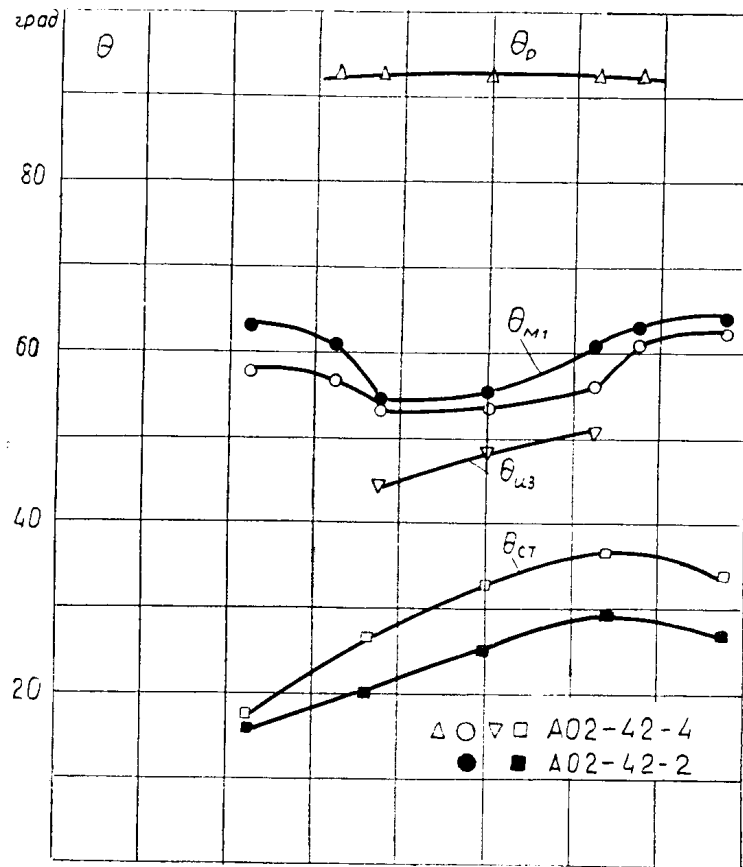


Рис. 1. Температурное поле двигателей А02-42-4 и А02-42-2

стей к внутреннему воздуху, например, путем покрытия асбестом, то их средняя температура увеличивается на 4°C , а пазовой части — на $3,6^{\circ}\text{C}$. При этом перепад температур от лобовых частей к пазовой части увеличивается с $5,2$ до $5,6^{\circ}\text{C}$. Следовательно, тепловой поток из лобовых частей в пазовую возрастает незначительно. Таким образом, ухудшение отвода тепла от лобовых частей к внутреннему воздуху не играет существенной роли. Повышение температуры обмотки статора в данном опыте объясняется следующей причиной: дополнительная изоляция на лобовых частях затруднила циркуляцию воздуха и ухудшила теплоотдачу от ротора, температура его поднялась на 8°C , и увеличилась доля тепла, передаваемая от ротора к статору через зазор, что вызвало дополнительный нагрев пазовой части обмотки.

Циркуляция воздуха внутри двигателя обеспечивается крыльчаткой, отлитой заодно с короткозамыкающим кольцом ротора. Известно, что интенсивность перемешивания воздуха зависит от размеров и количества крыльшек. Поскольку испытания проводились на серийном двигателе А02-42-4, то в данном случае можно было изменять ширину кры-

лышек только в сторону уменьшения от начального значения 46 мм; высота и число крыльшек не менялись. При уменьшении ширины крыльчатки в 2 раза средний перегрев обмотки статора увеличился на 3,8%, перегрев ротора увеличился на 5,9%; при полностью сточенной крыльчатке средний перегрев обмотки статора увеличился на 11,6%, перегрев ротора — на 15%. Повышение перегрева ротора при этом происходит вследствие уменьшения поверхности охлаждения крыльчатки, а статора — за счет увеличения теплового потока от ротора через зазор и ухудшения обдува лобовых частей. Хотя при уменьшении ширины крыльчатки уменьшаются внутренние вентиляционные потери, влияние их на тепловое состояние двигателя незначительно по сравнению с другими видами потерь. Обнаружить оптимальную ширину крыльшек, как это показано в [1], не удалось; по-видимому она больше, чем в существующей конструкции двигателя.

Конструкция внутреннего вентилятора, образованного крыльчаткой, такова, что доля воздушных потоков, циркулирующих по путям утечки и не участвующих в охлаждении лобовых частей обмотки статора, значительна. Кроме того, между статором и станиной имеются места, где практически отсутствует перемешивание воздуха. Поэтому для упорядочения движения воздуха внутри машины было предложено установить диск на пути утечек, то есть сделать вентилятор двухдисковым и тем самым направить воздух в решетку, создаваемую лобовыми частями при выходе из паза. В результате перегрев лобовых частей обмотки статора понизился на 1,5°С, а средний перегрев обмотки статора — на 0,6°С, или на 1%.

Весьма важным тепловым параметром для закрытых двигателей является проводимость между спинкой пакета статора и станиной, которая в сильной степени зависит от состояния контактируемых поверхностей, контактного давления и т. п. Исследования на различных машинах показывают, что перепад температур в зазоре между пакетом и станиной может колебаться от 3 до 7°С.

В серии АО2 пакет статора по наружному диаметру не обрабатывается, и средний перепад между пакетом и станиной составляет 5,7°С. Чтобы определить, как влияет класс обработки на перепад температуры, были изготовлены и испытаны 6 двигателей, у которых пакет статора обрабатывался по классу ∇ 6. Перепад температуры составил 5,4°С, то есть остался практически неизменным. По-видимому, более жесткие требования к обработке посадочных поверхностей пакета статора и станины не обеспечат существенного уменьшения перепада температур между ними.

Характер температурного поля (рис. 2) опытного образца двигателя Д — 132 М-4 такой же, как у двигателя серии АО2. В целом температура обмотки статора и станины выше, чем в двигателях серии АО2.

Температурное поле первых опытных образцов двигателей серии АО4 приведено на рис. 3.

Наиболее нагретые точки статорной обмотки находятся в лобовых частях со стороны, противоположной вентилятору. Повышение температуры нагретой точки над средней температурой обмотки складывается из двух составляющих:

$$\Delta\theta_M = \partial\theta_{M1} + \partial\theta_{M2}, \quad (1)$$

где $\partial\theta_{M1}$ — превышение полусуммы температур концов лобовых частей над средней температурой обмотки, вызванное притоком тепла от лобовых частей к пазовой части.

$\partial\theta_{M2}$ — перекося температурного поля обмотки вследствие несимметрии охлаждения корпуса, то есть полуразность температур лобовых частей.

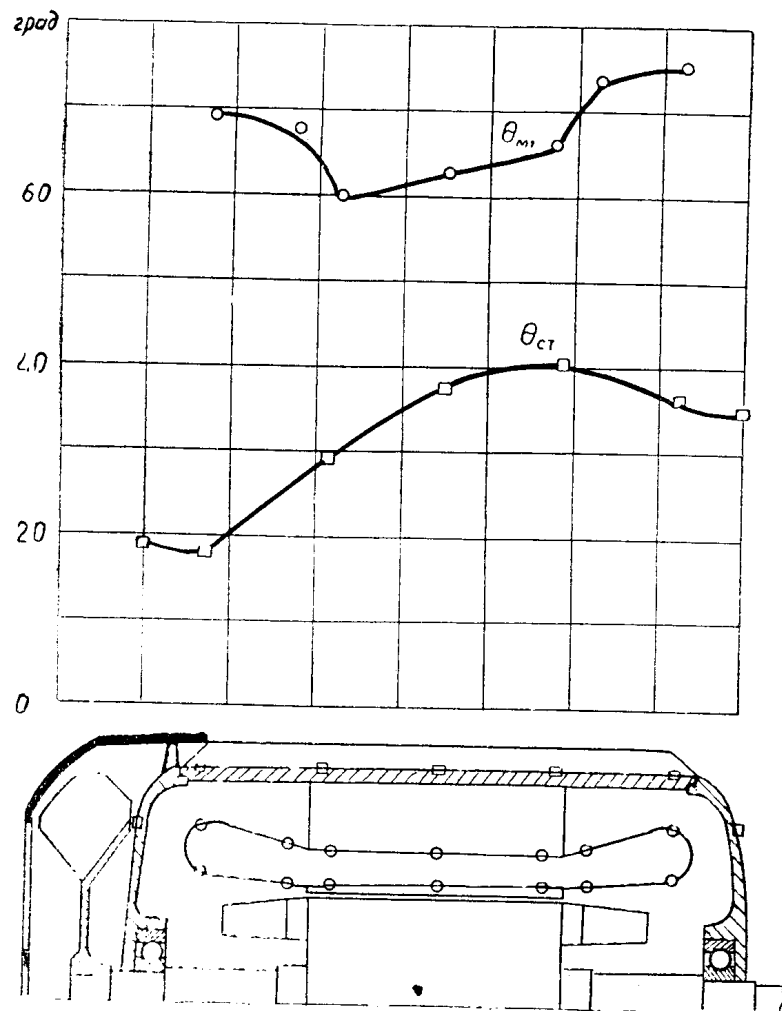


Рис. 2. Температурное поле двигателя D—132M-4

Первая составляющая может быть рассчитана при условии симметричного охлаждения статора на основании допущения о параболическом характере распределения температуры по длине лобовой части. Опуская математические выкладки, в конечном виде имеем

$$\partial\theta_{M1} = P_{M1}k_{л} \frac{1}{24S_M\lambda_{Cu}} \cdot \frac{l_{л}^2(l_{л} + 3l)}{(l_{л} + l)^2} \quad (2)$$

Здесь P_{M1} — потери в меди обмотки статора,

$k_{л}$ — составляет 0,75 для двухполюсных машин и 0,95 для остальных,

S_M — суммарное сечение меди;

λ_{Cu} — теплопроводность меди;

$l_{л}$ и l — длины лобовой и активной части обмотки статора.

Вторая составляющая определяется через перекося температурного поля станины с учетом теплового сопротивления между обмоткой и станиной и выравнивающего действия аксиальной теплопроводности обмотки.

Коэффициент перекося теплоотдачи корпуса [3] рекомендуется вычислять по формуле, учитывающей длину станины

$$k = 0,92 + 0,7 \left(\frac{L_{ст}}{D_{ст}} - 1 \right), \quad (3)$$

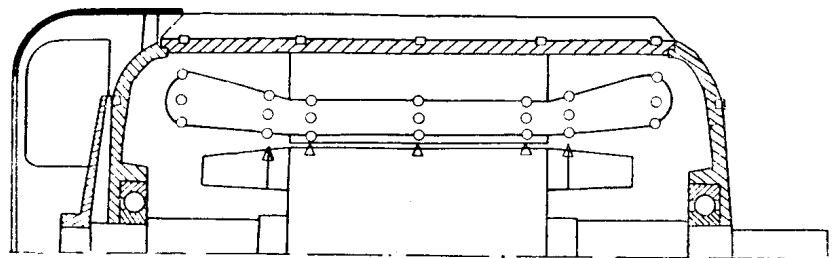
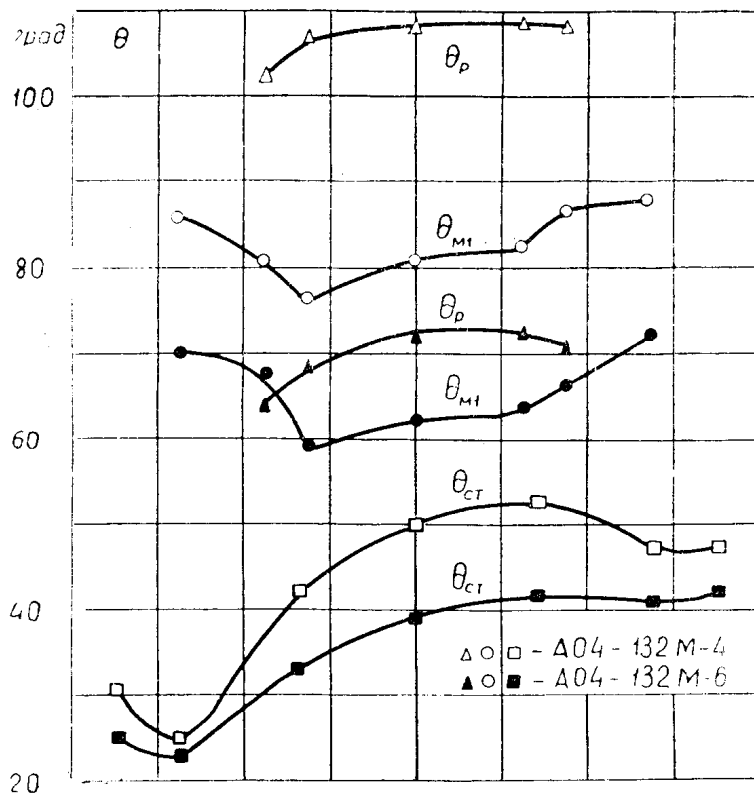


Рис. 3. Температурное поле двигателей А04-132М-4 и А04-132М-6

где $L_{ст}$ и $D_{ст}$ — длина и наружный диаметр станины.

Перекося температурного поля станины, равный полуразности температур по ее краям, вычисляется по упрощенной формуле [3]

$$\Delta\tau = \theta_0 \frac{0,4 k}{1 + \frac{10}{R_{ст} G_\alpha}}, \quad (4)$$

где $R_{ст}$ — аксиальное тепловое сопротивление станины,
 G_α — тепловая проводимость от оболочки к воздуху.
 Составляющая перегрева горячей точки

$$\partial\theta_{M2} = \Delta\tau \frac{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{l}{L_{ст}}\right)}{1 + \frac{12 R_{мс}}{R_M}}. \quad (5)$$

Здесь

$$R_m = \frac{l + \frac{2}{3} l_L}{S_m \lambda_{Cu}}$$

— расчетное аксиальное тепловое сопротивление обмотки статора.

R_{mc} — тепловое сопротивление между обмоткой и станиной, состоящее из сопротивлений изоляции, зубца на $\frac{1}{3}$ высоты, спинки статора и зазора между пакетом статора и станиной.

Превышение температуры наиболее горячей точки над средней температурой обмотки для двигателя АО2-42-4 по опыту (рис. 1) составляет $4,5^\circ\text{C}$, по расчету — $4,6^\circ\text{C}$; для АО2-42-2 по опыту — $5,7^\circ\text{C}$, по расчету — $6,1^\circ\text{C}$.

Таким образом, превышение температуры наиболее горячей точки над средней температурой обмотки статора, которым характеризуется неравномерность нагрева обмотки статора по длине, имеет значительную величину (до 10%).

Предложенная методика расчета превышения температуры наиболее нагретой точки над средней температурой обмотки имеет достаточную точность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Л. Заутнер, И. И. Фейгельман, М. М. Анджейко, В. И. Борисович. Оптимальная длина вентиляционных лопаток короткозамкнутого ротора взрывонепроницаемых асинхронных двигателей. «Электротехника», 1965, № 7.

2. В. А. Жадан, Д. И. Санников, Р. Я. Кляйн. Исследование температурных полей закрытых обдуваемых электродвигателей. Известия ТПИ, т. 172, 1967.

3. В. А. Жадан, Д. И. Санников. Несимметрия нагрева корпуса электрических машин с внешним обдувом. Известия ТПИ, т. 172, 1967.