

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ЗАКРЫТЫХ ОБДУВАЕМЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В. А. ЖАДАН, Д. И. САННИКОВ, Р. Я. КЛЯЙН

(Представлено научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

В настоящее время большая часть асинхронных двигателей малой мощности выполняется в закрытом обдуваемом исполнении. Поэтому очень важно знать картину распределения температурного поля и тепловую загрузку обмотки статора для дальнейшего улучшения и усовершенствования двигателей.

Исследования температурного поля обмотки статора, а также корпуса, проводились на двигателях серии АО2 3-го и 4-го габаритов четырех- и шестиполюсных. В обмотку статора закладывались в процессе намотки от 38 до 50 термопар, что позволило получить достаточно достоверную картину температурного поля, а также определить разброс температуры между одинаковыми точками по окружности статора, разброс температуры от испытания к испытанию и разброс температуры между отдельными двигателями. Тепловые испытания были проведены как при номинальной нагрузке, так и при перегрузке при $I=1,2 I_n$. Нагрев двигателей до установившейся температуры контролировался по 15 термопарам из обмотки статора и 10 термопарам из корпуса. Для большей достоверности температурного поля исследования проводились на 12 электродвигателях, причем тепловые режимы проводились многократно.

На рис. 1, 2 приведены средние значения температурного поля двигателей 3-го и 4-го габаритов. Анализ эпюр температур показывает, что лобовые части нагреты более пазовых в среднем на 6—8%, что объясняется лучшей передачей тепла от обмотки к корпусу через железо статора по сравнению с теплоотводом из лобовых частей к корпусу через воздух. В этом же направлении влияет внутреннее тепловое сопротивление в лобовых частях, головки которых образуют с теплофизической точки зрения монолитное тело.

Наиболее нагретой является лобовая часть со стороны привода. Ее перегрев превосходит перегрев противоположной стороны на 5—9%. Это объясняется более высокой температурой корпуса со стороны привода, а также наличием междукатушечных соединений и в связи с этим усиленной изоляции.

Температура в пазовой части увеличивается от дна паза к клину на 6—7% среднего перегрева под влиянием теплового потока от ротора через зубцы статора к корпусу, а также теплоизолирующего действия клина.

Провалы температурных кривых наблюдаются в месте выхода секций из пазов. Это объясняется следующим:

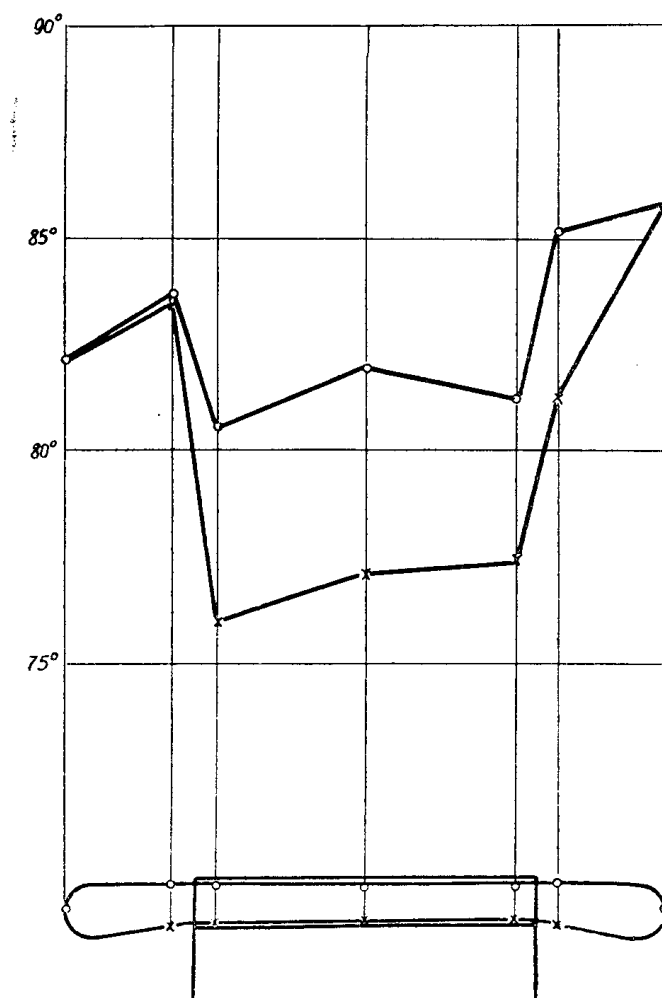


Рис. 1. Температурное поле двигателя АО2-42-4 при перегрузке.
 O — в верхней части паза,
 X — на дне паза.

1. Крайние листы пакета находятся в более благоприятных условиях с точки зрения отвода тепла к корпусу, так как они находятся ближе к свободным частям корпуса (не соприкасающимися с пакетом).

2. При выходе секций из пазов образуются радиальные каналы, через которые интенсивно прогоняется воздух лопатками ротора.

Объем полученных экспериментальных данных дает возможность сделать оценку разброса температур. Можно выделить три вида разброса температур: разброс температур по режимам σ_D ; разброс температур по окружности статора σ_T ; разброс температур по машинам σ_M . Величина разброса оценивается среднеквадратическими отклонениями. Расчет среднеквадратических отклонений производится с 95-процентной вероятностью.

Разброс температуры между режимами характеризуется следующими данными:

для лобовой части $\sigma_D = 1,7 \div 4,6\%$,

для пазовой части $\sigma_D = 1,0 \div 2,9\%$.

Разброс температуры между термopарами одной позиции в различных точках характеризуется следующими данными:

для лобовой части $\sigma_T = 4,5 \div 8,2\%$,

для пазовой части $\sigma_T = 4,5 \div 7,6\%$.

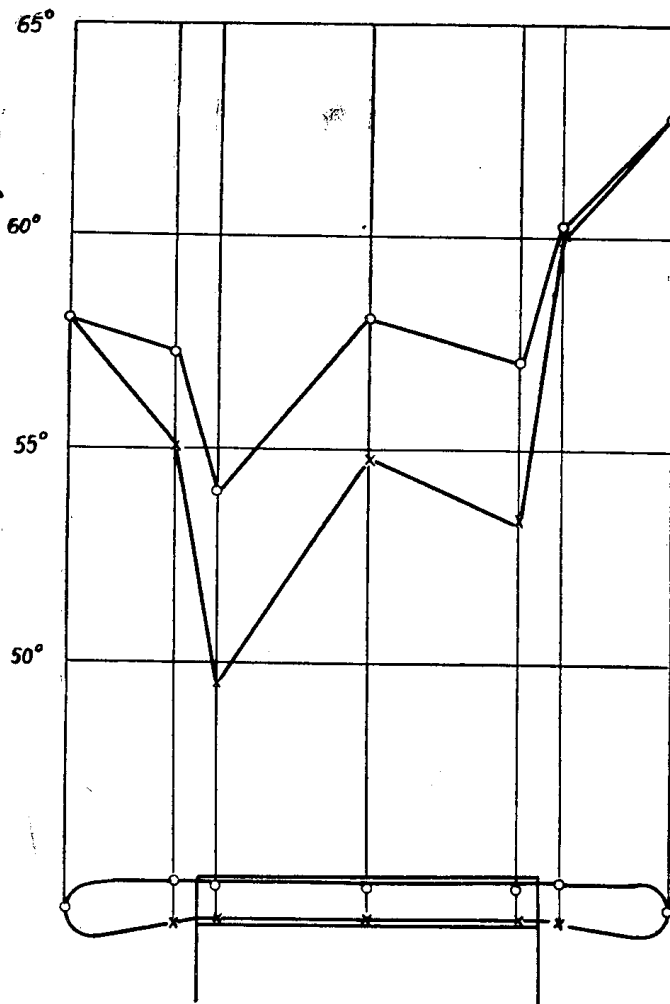


Рис. 2. Температурное поле двигателя АО2-32-4.
 O — в верхней части паза,
 X — на дне паза.

Разброс температуры между машинами характеризуется:
 для лобовой части $\sigma_M = 5 \div 11\%$,
 для пазовой части $\sigma_M = 1,9 \div 3,5\%$.

Наибольший разброс наблюдается в лобовых частях обмотки, в особенности разброс по машинам.

На рис. 3 показано распределение температуры по окружности корпуса. Распределение температуры по окружности имеет несколько выбросов.

Разница температур правой и левой части корпуса составляет в среднем 27% от перегрева обмотки. Очевидно, именно эта разница и является причиной неодинакового нагрева лобовых частей обмотки с обеих сторон статора. Уменьшение температурного перекося в обмотке до 5-9% объясняется ее аксиальной теплопроводностью. Средний перегрев корпуса составляет 50% от перегрева обмотки для 4-полюсных машин и 58% — для 6-полюсных машин.

Как и для обмотки статора, был определен разброс температур по окружности корпуса. Среднеквадратическое отклонение температуры между режимами

$$\sigma_p = 2,8 \div 5,8\%$$

Среднеквадратическое отклонение температуры между точками по окружности

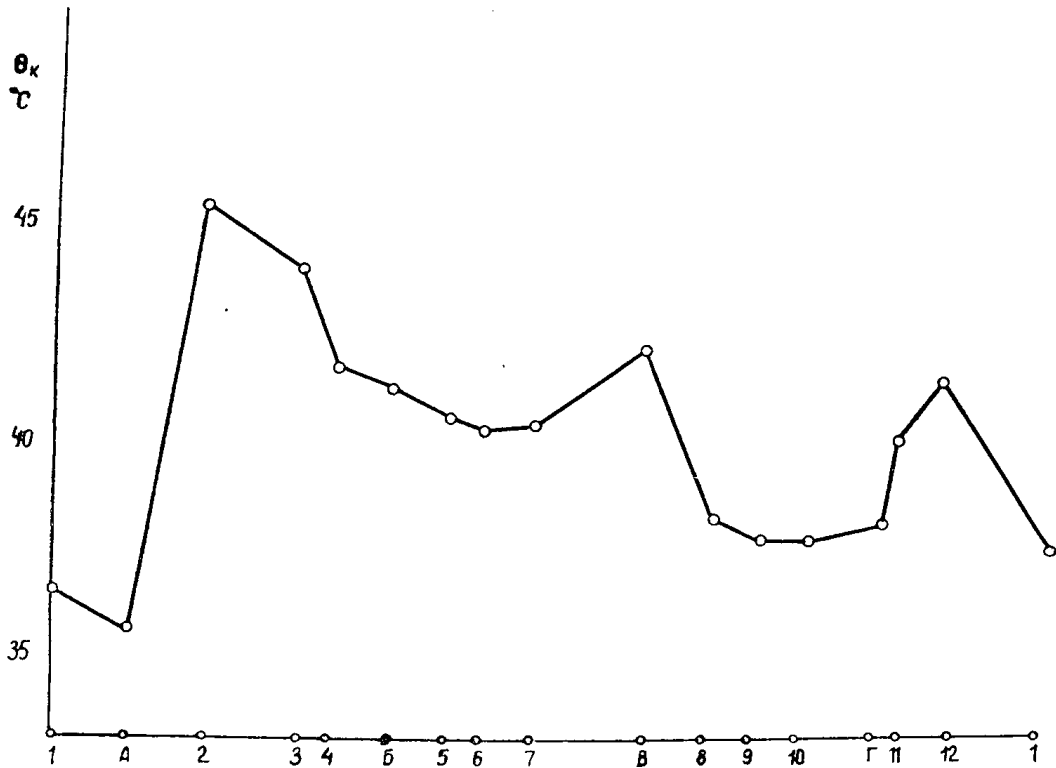


Рис. 3. Распределение перегревов по окружности корпуса.

$$\sigma_T = 12,8 \div 18,3\%$$

Среднеквадратическое отклонение температуры между машинами

$$\sigma_M = 1,5 \div 3,0\%$$

в процентах от среднего перегрева корпуса. В процентах от перегрева обмотки в 1,7 ÷ 2,0 раза меньше, то есть такого же порядка, как и разброс температуры обмотки, за исключением разброса по машинам, который оказывается значительно меньше.

Температурный перепад от корпуса к окружающему воздуху составляет в машинах АО2-3-го и 4-го габаритов наибольшую долю среди других перепадов, составляющих перегрев обмотки статора (от 50 до 70%). Поэтому снижение данного перепада на основании глубоких исследований наружной вентиляции является перспективным. Эти исследования удобнее всего проводить на физических моделях; более конкретно — на корпусах электродвигателей, снабженных нагревателем и вентилятором, который приводится во вращение от вспомогательного двигателя. При этом уменьшаются затраты времени и средств на подготовку и проведение экспериментов, достигается высокая точность при определении греющих потерь, большие удобства при внесении различных конструктивных изменений в вентиляционную систему.

К недостаткам моделей следует отнести невозможность исследовать переходные режимы.

Для измерения температуры в корпусе были встроены 30 термопар по такой же схеме, как и при испытании реальных двигателей.

На основании полученных опытных данных выведена зависимость среднего коэффициента теплоотдачи поверхности корпуса α_K , отнесенного к полной поверхности, от средней скорости воздушного потока при выходе его из-под кожуха

$$v_{\text{ср}} = \frac{V_p}{S_B},$$

где S_B — площадь сечения кольцевого канала между поверхностью корпуса и кожухом с учетом наличия ребер, карманов и лап.

Эмпирическая зависимость получена в критериальной форме:

$$Nu = 0,004 / Re^{0,65}; \quad (0,3 \cdot 10^5 < Re < 3 \cdot 10^5)$$

(погрешность не более 5%)

$$Re = \frac{v_{cp} D}{\nu} \text{ --- критерий Рейнольдса,}$$

$$Nu = \frac{\alpha_k D}{\lambda} \text{ --- критерий Нуссельта.}$$

В качестве определяющего размера D взят наружный диаметр оребренной станины; λ и ν — коэффициенты теплопроводности и кинематической вязкости воздуха при температуре окружающей среды.