

## НАГРЕВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПОВТОРНО- КРАТКОВРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

В. А. ЖАДАН, Ю. В. КОПЫЛОВ, Д. И. САННИКОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Для разработки уточненной методики теплового расчета асинхронных двигателей в повторно-кратковременных режимах работы (ПКР) с частыми пусками необходимо провести экспериментальные исследования нагрева этих двигателей при изменении относительной продолжительности включения ПВ, числа включений в час  $h$ , статического момента на валу двигателя  $M_c$  и коэффициента инерции вращающихся масс  $k_j$  в пределах, предусмотренных ГОСТом 183—66.

Экспериментальные исследования были проведены на двигателях серии 4А с высотой оси вращения 112 мм основного исполнения — 4А112М2, 4А112М4, 4А112М6 и на двигателях с повышенным скольжением, специально предназначенных для работы в режимах с частыми пусками — 4АС112М4, 4АС112М6.

В процессе изготовления этих двигателей в них было встроено по 76 термопар; из них в обмотке статора — 36, в станине — 30, в каждом подшипниковом щите — по 5 термопар. В каждую секцию обмотки статора, температурное поле которой измерялось, закладывались 12 термопар: 6 термопар — в пазовую часть и 6 термопар — в лобовую часть (рис. 1). Секции с термопарами равномерно распределялись по окружности статора таким образом, чтобы они находились во всех трех фазах. В станине термопары расположены равномерно по окружности и длине станины.

Измерение термоэ.д.с. производилось с помощью полуавтоматического потенциометра Р-2/1 и самопишущего потенциометра Н-39. Нагрузка двухполюсных двигателей осуществлялась с помощью такой же асинхронной машины, работающей в режиме генератора с самовозбуждением, а других двигателей — с помощью механического тормоза [2]. Тепловые испытания двигателей в ПКР с частыми пусками проводились при их питании от мощной сети с нерегулируемым напряжением при номинальной нагрузке на валу и неизменном для каждого типоразмера двигателя коэффициенте инерции вращающихся масс. Поскольку напряжение сети может изменяться за время работы двигателя, то оно непрерывно регистрировалось самопишущим вольтметром типа Н-376 и в дальнейшем производился пересчет потерь при пуске и во время работы на действительное напряжение.

Общая картина распределения температуры обмотки статора для всех испытанных двигателей в ПКР с частыми пусками одинакова и мало отличается от распределения температур в длительном режиме работы [3, 4].

Поскольку разброс температуры по окружности статора в любом поперечном сечении невелик, как правило, не превышает 5% [3] и величина этого разброса определяется главным образом технологическими отклонениями, то основное внимание следует уделить анализу распределения температур по длине обмотки. Для примера на рис. 1 и 2 показано распределение температуры по длине обмотки статора двигателя 4А-112-М-4 при различной относительной продолжительности включения и различном числе включений в час. Анализ этих зависимостей показывает, что, как и в длительном режиме работы, лобовые части обмотки статора нагреты сильнее пазовой части, вследствие лучших условий ее охлаждения; лобовые части обмотки со стороны привода нагреты больше лобовых частей со стороны вентилятора, ввиду несимметрии условий охлаждения корпуса.

Неравномерность распределения температуры по длине обмотки статора можно оценивать, например коэффициентом, равным отношению температуры наиболее нагретой точки в лобовых частях со стороны привода к температуре наименее нагретой точки в пазовой части обмотки статора.

Неравномерность нагрева при различной продолжительности включения изменяется под действием двух противоположных факторов: во-первых, при уменьшении продолжительности включения ухудшаются условия охлаждения корпуса и, следовательно, обмотки статора в целом,

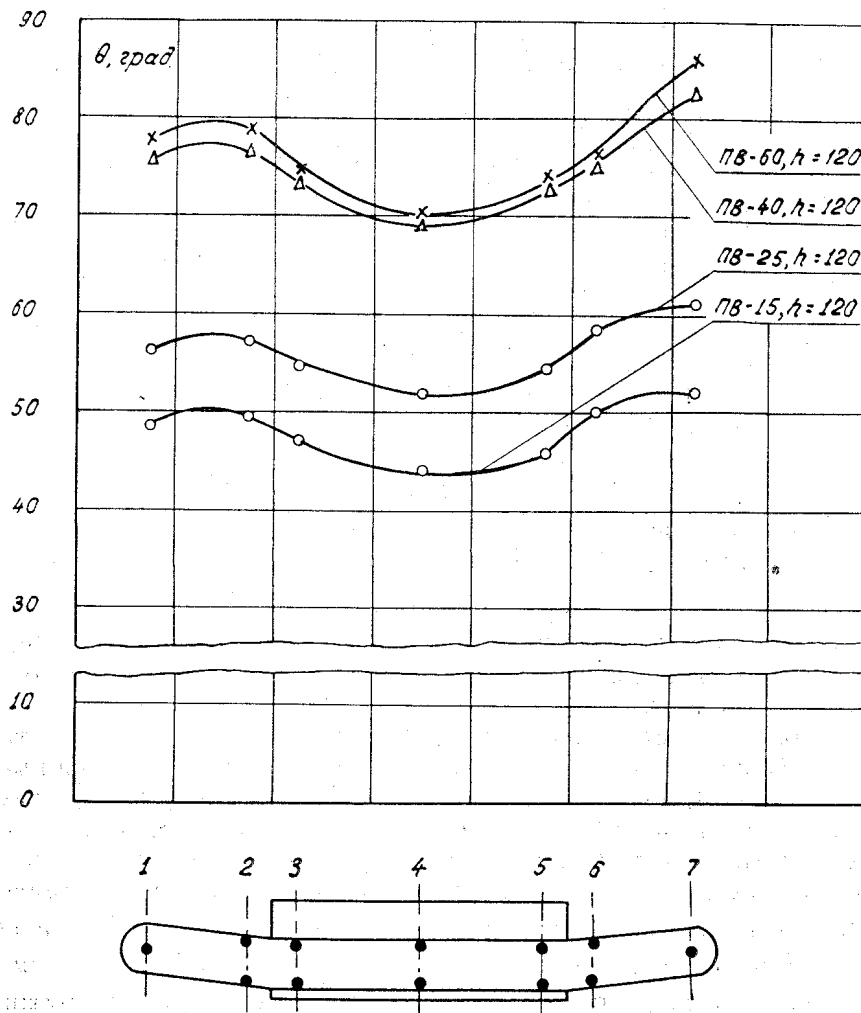


Рис. 1. Зависимость перегрева обмотки статора по длине для двигателя 4А-112М-4 при  $h = \text{var}$ ,  $\text{ПБ} = \text{const}$

что приводит к уменьшению неравномерности ее нагрева, во-вторых, ухудшаются условия теплоотвода от лобовых частей к внутреннему воздуху, что приводит к увеличению неравномерности. В двигателе 4А-112М-4 (рис. 1) коэффициент неравномерности нагрева обмотки изменяется от 1,18 при ПВ-15% до 1,23 при ПВ-60%. Таким образом, при увеличении ПВ неравномерность нагрева обмотки статора несколько увеличивается благодаря более сильному влиянию ухудшения условий охлаждения лобовых частей.

Изменение числа включений двигателя в час не влияет на перегрев температуры по длине обмотки статора (рис. 2). Кривая распределения перегрева обмотки статора по длине с увеличением числа включений в час смещается вверх вследствие увеличения потерь почти параллельно самой себе.

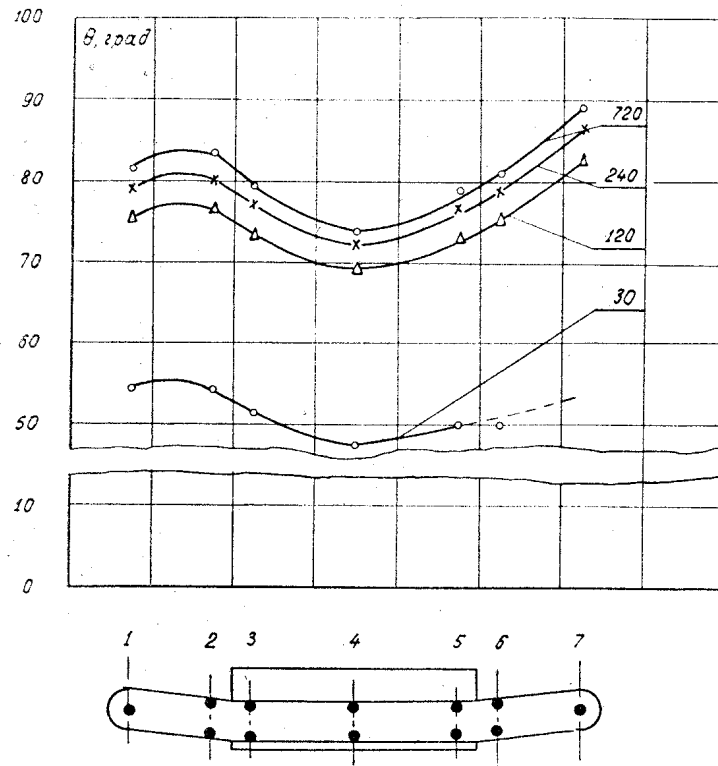


Рис. 2. Зависимость перегрева обмотки статора по длине для двигателя 4А-112М-4 при ПВ=var, h=const

Поскольку при изменении ПВ и h в широком диапазоне неравномерность нагрева изменяется незначительно, то оценку теплового состояния двигателя можно проводить в первом приближении и для продолжительного режима работы по среднему перегреву обмотки статора. При этом же и размах колебаний температуры во времени в режиме частых пусков ( $h \geq 30$ ) не превосходит  $4^\circ\text{C}$  [2]. В связи с этим в таблице приведены значения перегрева обмотки статора  $\Theta_m$ , усредненные во времени и по длине обмотки, и значения перегрева корпуса  $\Theta_{\text{к}}$ , усредненные во времени и по площади поверхности корпуса. Здесь же приведены суммарные греющие потери при номинальном режиме без учета потерь при пуске. При отклонении греющих потерь в отдельных режимах от номинальных производится пересчет средних перегревов обмотки статора и корпуса пропорционально изменению греющих потерь.

Приведены также средние значения энергии  $A_{\text{ш}}$  выделяемой за один

Таблица

## Результаты тепловых испытаний двигателей серии 4А в режимах частых пусков

Тип двигателя	ΣР, вт	А <sub>л</sub> , дж	ПВ %						100				
			15		40		60						
			30	120	240	30	120	240		30	120	240	
4А-112М-2	1300	4700	Θ <sub>м</sub> , град	40,5	48,4	69,0	60,2	68,0	85,0	75,0	84,4	93,9	86,4
			Θ <sub>к</sub> , град	23,6	26,0	36,8	28,4	31,4	38,5	32,0	34,5	37,4	31,3
4А-112М-4	1200	3350	Θ <sub>м</sub> , град	33,8	50,5	68,0	53,6	78,0	79,1	63,3	77,1	93,0	79,7
			Θ <sub>к</sub> , град	22,6	32,5	42,3	31,8	46,6	46,8	34,7	41,8	50,0	35,8
4А-112М-6	1500	1530	Θ <sub>м</sub> , град	27,8	32,4	38,2	45,6	47,2	51,6	67,0	60,9	63,5	71,0
			Θ <sub>к</sub> , град	20,9	26,4	29,7	82,1	33,5	39,0	40,1	41,9	43,8	40,9
4АС-112М-2	1500	1995	Θ <sub>м</sub> , град	38,6	47,7	51,5	52,7	62,6	68,5	68,7	70,0	82,0	83,7
			Θ <sub>к</sub> , град	24,1	30,5	32,3	30,9	35,3	37,4	36,0	35,5	42,2	36,5
4АС-112М-4	1500	1671	Θ <sub>м</sub> , град	38,6	40,6	—	54,4	63,1	65,4	73,8	77,8	79,0	94,0
			Θ <sub>к</sub> , град	23,9	24,9	—	35,8	36,5	37,7	38,5	41,6	42,1	43,9

пуск в обмотках статора и ротора, при постоянном коэффициенте инерции вращающихся масс и постоянном моменте сопротивления.

В качестве примера на рис. 3 показано, как изменяются средние перегревы обмотки статора и корпуса при различных  $h$  и ПВ для двигателей 4A112M4 и 4A112M6.

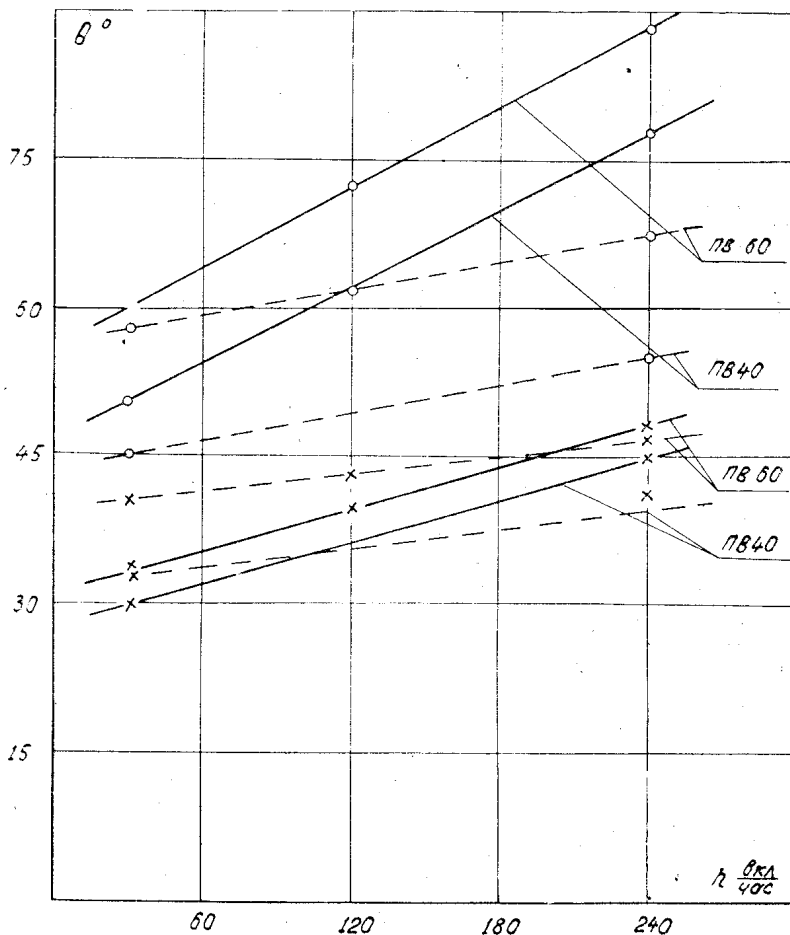


Рис. 3. Влияние числа включений на перегрев обмотки статора ● и корпуса x при различных ПВ: — для двигателя 4A-112M-4; — для двигателя 4A-112M-6

При увеличении числа включений наблюдается дополнительное повышение среднего перегрева обмотки статора и корпуса, которое растет прямо пропорционально  $h$ . Наклон характеристик  $\Theta_m, \Theta_k = f(h)$  определяется, в первую очередь, величиной потерь энергии за один пуск. Таким образом, имеется возможность определить на основании тепловых испытаний энергию пусковых потерь по формуле

$$A_{п} = \sum P \cdot \frac{3600}{h} \cdot \frac{\Delta \Theta}{\Theta_0} \cdot \frac{ПВ}{100}, \quad (1)$$

где  $\Theta_0$  — перегрев обмотки статора или корпуса при  $h=0$ ;

$$\Delta \Theta = \Theta_h - \Theta_0$$

$\Theta_h$  — перегрев обмотки статора или корпуса при данном числе включений  $h$ .

Например, проделав расчеты энергии, выделяемой в обмотках статора и ротора за один пуск, по осциллограммам тока и по формуле (1) получим следующие результаты:

двигатель 4А-112М-4:  
по осциллограммам тока —  $A_{\text{п}}=3350$  Дж, по формуле (1) —  
 $A_{\text{п}}=4800-5900$  Дж;  
двигатель 4А-112М-6:  
по осциллограммам тока —  $A_{\text{п}}=1530$  Дж, по формуле (1) —  
 $A_{\text{п}}=1570-1740$  Дж.

Отсюда можно сделать вывод, что расчет энергии за один пуск по осциллограммам тока дает заниженный результат.

Перегрев обмотки статора и корпуса с увеличением ПВ возрастает, но зависимость его от ПВ нелинейна, так как с увеличением ПВ одновременно с увеличением средних за цикл потерь увеличиваются условия охлаждения двигателей.

### Выводы

1. Характер распределения перегрева обмотки статора по длине при изменении числа включений и относительной продолжительности включений меняется слабо.

2. В режиме частых пусков зависимость перегрева обмотки статора и корпуса от числа включений в час — линейная, а от относительной продолжительности включения — нелинейная.

3. Асинхронные двигатели с повышенным скольжением находятся в лучших условиях по нагреву в режимах с частыми пусками, чем двигатели основного исполнения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Т. Артюхов. Асинхронные двигатели при периодической нагрузке. Киев, изд-во «Техніка», 1972.

2. В. А. Жадан, Ю. В. Копылов, Д. И. Санников. Экспериментальное исследование асинхронных двигателей в повторно-кратковременных режимах работы с частыми пусками. Известия ТПИ, т. 284, Томск, изд-во ТГУ, 1974.

3. В. А. Жадан, Д. И. Санников, Р. Я. Кляйн. Исследование температурных полей закрытых обдуваемых электродвигателей. Известия ТПИ, т. 172, Томск, изд-во ТГУ, 1967.

4. В. А. Жадан, Ю. В. Копылов, Д. И. Санников. Исследование нагрева асинхронных двигателей типа АО. Известия ТПИ, т. 212, Томск, изд-во ТГУ, 1972.