

## ПОСЛЕДСТВИЯ НЕКАЧЕСТВЕННОГО РЕМОНТА ОБМОТКИ СТАТОРА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Падеев А.С., канд. техн. наук, доцент, Сурков Д.В., канд. техн. наук  
Оренбургский государственный университет

Во время эксплуатации асинхронных двигателей в них по разным причинам возникают неисправности, которые часто приводят к остановке и простоям различных производственных механизмов [1]. Что в свою очередь приводит к частичному или полному нарушению технологического процесса любого предприятия. Необходимость в быстрейшем устранении повреждений обуславливается также и тем, что работа электродвигателя, имеющего небольшое повреждение, может привести к развитию повреждения и необходимости более сложного ремонта.

Неисправности асинхронных двигателей можно разделить на механические (износ подшипников; деформация или поломка вала ротора; трещины в подшипниковых щитах или в станине и др.) и электрические (межвитковые и межфазные замыкания; обрывы в обмотках; пробой изоляции на корпус; старение изоляции и др.). К наиболее распространенным относятся следующие неисправности:

1. Перегрузка или перегрев статора электродвигателя - 31%;
2. Межвитковое замыкание - 15%;
3. Повреждения подшипников - 12%;
4. Повреждение обмоток статора или изоляции - 11%;
5. Неравномерный воздушный зазор между статором и ротором - 9%;
6. Работа электродвигателя на двух фазах - 8%;
7. Обрыв или ослабление крепления стержней в беличьей клетке - 5%;
8. Ослабление крепления обмоток статора - 4%;
9. Дисбаланс ротора электродвигателя - 3%;
10. Несоосность валов - 2%.

Как видно из представленных данных неисправности обмотки статора составляют более 60 % от общего числа неисправностей асинхронных двигателей. Незначительные неисправности, например, небольшие витковые замыкания в двигателях со вспятыми обмотками, приводят к ухудшению характеристик электродвигателя, но не приводят к немедленному выходу его из строя. Более серьезные неисправности требуют, как правило, полного ремонта обмотки статора. В электродвигателях с обмотками из прямоугольного провода ремонт обмотки статора может ограничиться заменой одной или нескольких поврежденных катушек. В электродвигателях с обмотками из круглого провода поврежденная обмотка полностью заменяется на новую.

Некоторое время назад на кафедре возникла необходимость замены обмотки статора асинхронного двигателя АИР132S4У2, при этом новая обмотка должна была содержать дополнительные выводы от ряда витков всех фаз. Двигатель был перемотан на одном из промышленных предприятий города. Исходная обмотка была выполнена обмоточным проводом  $d/d_{из} = 1,32/1,42$  мм, в каждом пазу находилось  $U_n = 23$  эффективных проводника, при коэффициенте заполнения  $K_{зан} = 0,689$ . Новая обмотка статора была выполнена таким же обмоточным проводом, но число эффективных проводников в пазу уменьшилось до 19, что не было предусмотрено техническим заданием. Коэффициент заполнения новой обмотки статора уменьшился до  $K_{зан} = 0,57$ .

При испытании перемотанного двигателя в режиме холостого хода измеренный фазный ток статора стал практически равен току при номинальной нагрузке. Для количественной оценки произошедших изменений были произведены поверочные расчеты асинхронного двигателя с исходной обмоткой статора и перемотанного двигателя. Также, для сравнения, был произведен расчет двигателя с числом эффективных проводников в пазу равным 21 ( $K_{зан} = 0,63$ ). На рисунках 1 – 3 и в таблице 1 показано как изменились параметры и характеристики двигателя.

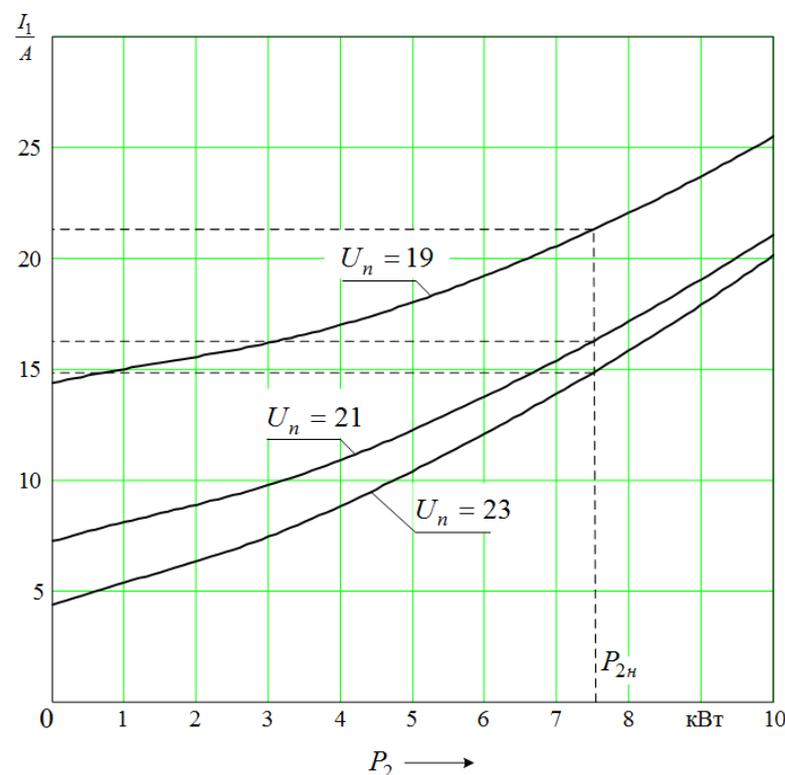


Рисунок 1 – Зависимости тока статора двигателя от полезной мощности, при различных числах эффективных проводников в пазу

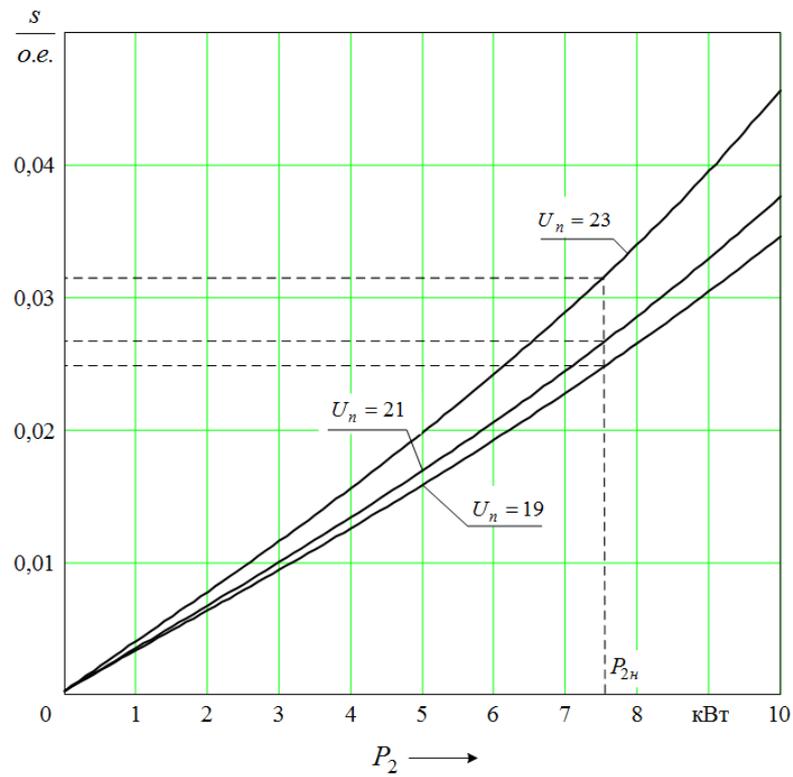


Рисунок 2 – Зависимости скольжения двигателя от полезной мощности, при различных числах эффективных проводников в пазу

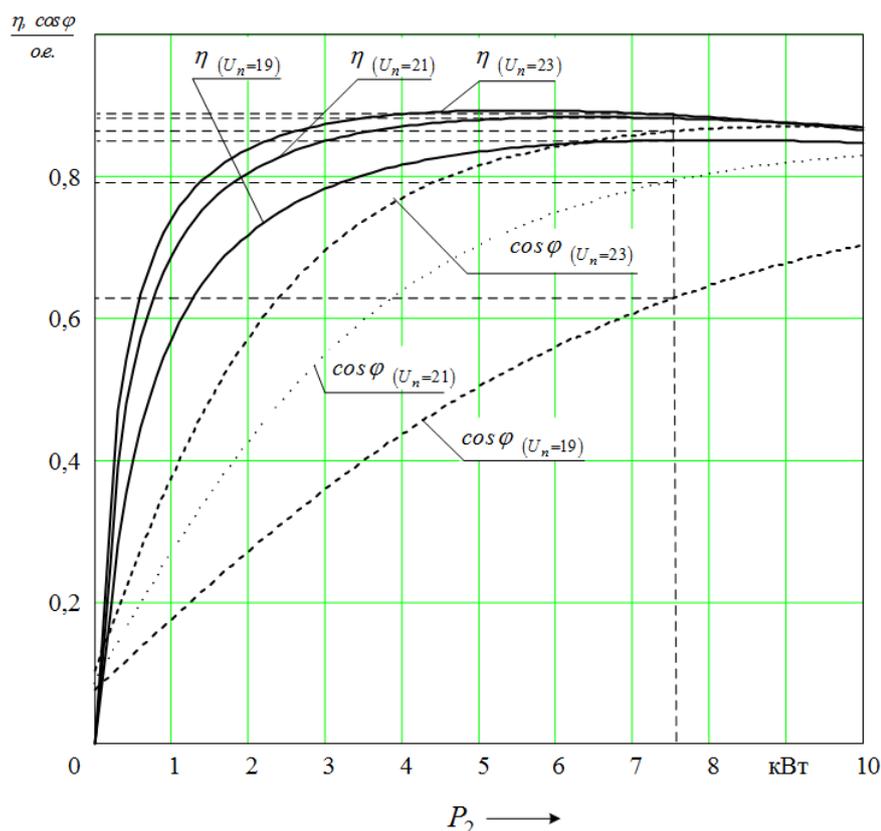


Рисунок 3 – Зависимости коэффициента полезного действия и коэффициента мощности от полезной мощности, при различных числах эффективных проводников в пазу.

Таблица 1 – Сравнение параметров двигателя при различных числа эффективных проводников в пазу

Параметр	$U_n = 23$	$U_n = 21$	$U_n = 19$
$I_{1H}, A$	14,84	16,27 (+9,63%)	21,3 (+43,48%)
$s_H, o.e.$	0,0313	0,0265 (-15,49%)	0,0246 (-21,36%)
$P_{магн}, Вт$	233,7	273,3 (+16,92%)	312,6 (+33,75%)
$P_{\omega 1}, Вт$	379,6	420,8 (+10,85%)	701 (+84,67%)
$P_{\omega 2}, Вт$	247,7	209,9 (-15,26%)	196,8 (-20,55%)
$\Sigma P, Вт$	957,3	1004,5 (+4,93%)	1318 (+37,68%)
$\eta, o.e.$	0,886	0,882 (-0,45%)	0,851 (-3,95%)
$\cos \varphi, o.e.$	0,863	0,792 (-8,23%)	0,627 (-27,35%)
$K_i, o.e.$	6,51	8,67 (+33,18%)	9,44 (+45,01%)
$K_M, o.e.$	1,85	2,61 (+41,08%)	3,07 (+65,95%)
$\Delta \Theta_1, ^\circ C$	64,09	66,18 (+3,26%)	87,18 (+36,03%)

Проведенные расчеты позволяют увидеть, что при уменьшении числа эффективных проводников в пазу до  $U_n = 21$  (-8,7%) происходит увеличение потребляемого номинального тока (+9,63%), суммарных потерь (+4,93%),

кратностей пускового тока (+33,18%) и момента (+41,08%), и незначительно (+3,26%) возрастает температура обмотки статора. При этом, происходит уменьшение номинального скольжения (-15,49%), электрических потерь в обмотке ротора (-15,26%) и коэффициента мощности (-8,23%). Коэффициент полезного действия изменяется незначительно (-0,45%). Данные изменения параметров можно объяснить увеличением магнитного потока и соответственно индукций на всех участках магнитной цепи двигателя. Отдельные участки магнитной цепи (зубцы статора и ротора) становятся перенасыщенными.

При уменьшении числа эффективных проводников в пазу до значения  $U_n = 19$  (-17,4%) изменения параметров и характеристик двигателя становятся “катастрофическими”. Номинальный ток двигателя увеличивается на 43,48%, а в режиме холостого хода становится равен номинальному току двигателя с исходной обмоткой статора. Также происходит увеличение магнитных потерь (+33,75%), электрических потерь в обмотке статора (+84,67%), суммарных потерь (+37,68%), кратностей пускового тока (+45,01%) и момента (+65,95%), и существенно (+36,03%) возрастает температура обмотки статора. Вместе с тем уменьшается номинальное скольжение (-21,36%), электрические потери в обмотке ротора (-20,55%), коэффициент полезного действия (-3,95%) и коэффициент мощности (-27,35%). Магнитная система двигателя, за исключением ярма ротора, становится перенасыщенной.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Уменьшение числа эффективных проводников в пазу статора асинхронного двигателя относительно его номинального значения приводит к ухудшению параметров и характеристик двигателя;

2. При незначительном уменьшении числа эффективных проводников (1 – 2 проводника) потребитель “может не заметить” произошедшие изменения и будет эксплуатировать двигатель с ухудшившимися характеристиками. При большем уменьшении числа эффективных проводников эксплуатация двигателя становится невозможной из-за перегрева обмотки статора.

3. Некоторые современные асинхронные двигатели для экономии активных материалов и уменьшения их стоимости проектируются с практически насыщенной магнитной системой, поэтому даже незначительное уменьшение числа эффективных проводников приведет к существенному ухудшению параметров и характеристик двигателя;

4. Энергоэффективные асинхронные двигатели могут иметь значение коэффициента заполнения до 0,85. При ручном способе укладки обмотки можно получить значение коэффициента заполнения до 0,76. Поэтому при ремонте и замене обмотки статора неизбежно произойдет уменьшение числа эффективных проводников в пазу, что в лучшем случае приведет к уменьшению класса энергоэффективности, а в худшем к невозможности эксплуатации отремонтированного двигателя.

*1. Гемке, Р. Г. Неисправности электрических машин [Текст] / Р. Г. Гемке; под ред. Р. Б. Уманцева.- 9-е изд., перераб. и доп. - Л. : Энергоатомиздат, 1989. - 336 с.*