

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ РОТОРОВ ДО МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В. П. ОБРУСНИК, Г. Г. ОКУНЕВ

(Рекомендована научно-техническим семинаром отдела электропривода и автоматизации
промышленных установок НИИ АЭМ)

Сложившаяся в настоящее время научно-техническая и производственная база на заводах электромашиностроения позволяет полностью обеспечить выпуск электродвигателей только высокого качества и без внутризаводских потерь. Однако в практической деятельности заводов брак и низкое качество некоторой части электродвигателей были и продолжают оставаться. Сказанное относится к таким простым по исполнению электродвигателям, как асинхронные с короткозамкнутым ротором. У этих машин ротор является наиболее простым узлом, и сложилось мнение, что проблемы ротора в повышении качества и надежности короткозамкнутых асинхронных электродвигателей как таковой не существует.

Тем не менее, с момента появления литой алюминиевой клетки перед изготовителями и эксплуатационниками не снят вопрос контроля ее параметров, которые могут существенно отклоняться от расчетных, вследствие дефектов, возникающих при заливке роторов [2]. Серьезными факторами, влияющими на качество беличьей клетки, являются: давление опрессовки пакета роторного железа, температура алюминия, температура пакета роторного железа, скорость заполнения пазов ротора алюминием, давление заполнения, равномерность остывания ротора, наличие примесей в алюминии, переходное сопротивление между стержнем и железом ротора, а также способ заливки. Все это может привести к обрывам, недоливам, раковинам и другим дефектам в стержнях беличьей клетки. Чрезмерная опрессовка роторного пакета и неравномерное охлаждение часто вызывают трещины стержней. Несоответствующая температура алюминия может послужить причиной сужений, разрывов, пористости и раковин на стержнях.

Проведенными на некоторых заводах страны исследованиями короткозамкнутых асинхронных электродвигателей 2 ÷ 11 габаритов установлено, что брак по причинам внутренних дефектов литой беличьей клетки роторов колеблется в пределах 0,3 ÷ 11% от общего выпуска этих двигателей. Так, например, для заводов Москвы, Харькова, Ярославля, Кемерово, Улан-Удэ средний процент этого брака составляет 4,1%. Можно предполагать, что брак электродвигателей по внутренним дефектам роторов имеется на всех электромашиностроительных заводах страны и если считать его равным 4%, то убытки на заводах-изготовителях составят огромные суммы.

Покажем это на примере конкретных расчетов по данным выпуска короткозамкнутых электродвигателей мощностью до 100 квт на 1967 год. Приняв, что этих двигателей в 1967 году было выпущено 5 млн. штук [1] и что их мощность по габаритам распределяется примерно одинаково, можно составить таблицы данных № 1, № 2. В этих таблицах оптовые цены

электродвигателей взяты из [3], а их количество по габаритам устанавливалось из соображений, что оно обратно пропорционально мощности. Например, если двигатель девятого габарита имеет мощность 100 квт, а первого габарита — 0,8 квт, то двигателей первого габарита будет в $100 : 0,8 = 125$ раз больше, чем девятого.

Таблица 1

Типы двигателей 1 длины, мощностью до 100 квт	Номинальная мощность, квт	Количество двигателей, в пересчете на 1 двигатель 9-го габарита	Удельный вес каждого габарита от общего выпуска, %	Выпуск электродвигателей по габаритам, тыс. шт.	Стоимость двигателей по габаритам, млн. руб.	Удельный вес стоимости роторов в оптовой цене двигателей, %	Стоимость роторов в оптовой цене электродвигателей, млн. руб.	Сумма убытков при браке 4%, тыс. руб.
A02-11-4	0,6	125	46,6	2330,0	—	—	—	—
A02-21-4	1,1	68,8	25,6	1280,0	33,280	9,8	3,261	180,4
A02-31-4	2,2	34,3	12,6	630,0	22,365	10,4	2,326	93,0
A02-41-4	4,0	18,75	7,0	350,0	16,450	11,2	1,842	73,7
A02-51-4	7,5	10,0	3,73	186,5	15,666	12,0	1,880	75,2
A02-61-4	13,0	5,78	2,15	107,5	14,835	13,2	1,958	78,3
A02-71-4	22,0	3,4	1,26	63,0	11,025	13,9	1,532	61,3
A02-81-4	40,0	1,85	0,69	34,5	10,143	15,0	1,521	60,8
A02-91-4	75,0	1,0	0,37	18,5	7,603	15,5	1,178	47,1
Итого	—	268,8	100,0	5000	131 367	—	15,498	619,8

Таблица 2

Типы двигателей 2 длины мощностью до 100 квт	Номинальная мощность, квт	Количество двигателей, в пересчете на 1 двигатель 9-го габарита	Удельный вес каждого габарита от общего выпуска, %	Выпуск электродвигателей по габаритам, тыс. шт.	Стоимость двигателей каждого габарита в оптовых ценах, млн. руб.	Удельный вес стоимости роторов в оптовой цене двигателей, %	Стоимость роторов в оптовой цене электродвигателей, млн. руб.	Сумма убытков при браке 4%, тыс. руб.
A02-12-4	0,8	125,0	47,2	2,360	—	—	—	—
A02-22-4	1,5	66,7	25,1	1,255	35,140	9,8	3,443	137,7
A02-32-4	3,0	33,3	12,54	627	24,756	10,4	2,574	103,0
A02-42-4	5,5	18,2	6,86	345	17,940	11,2	2,009	80,3
A02-52-4	10,0	10,0	3,77	188	18800	12,0	2,256	90,2
A02-62-4	17,0	6,0	2,22	111	16,428	13,2	2,168	86,7
A02-72-4	30,0	3,33	1,25	62	12,214	13,9	1,697	67,9
A02-82-4	55,0	1,83	0,69	34	11,186	15,0	1,678	67,1
A02-92-4	100,0	1,0	0,37	18	9,018	15,5	1,398	55,9
Итого	—	165,3	100,0	5000	145,482	—	17,223	688,8

По данным табл. 1 и 2, общие средние потери от брака дефектных роторов единой серии электродвигателей 2÷9 габаритов, выпущенных в 1967 году, составили:

$$\frac{1}{2} (688 + 619,8) 654 \text{ тыс. руб. в год.}$$

Потери от брака роторов можно сократить до минимума, если этот брак обнаруживать непосредственно после отливки беличьей клетки, то есть до механической обработки бочки ротора. Тогда, во-первых, отпадает необ-

ходимость списывать бракованные роторы в металлолом, так как их будет нетрудно исправлять путем перезаливки, сохранив дефицитный металл пакета ротора; во-вторых, при выявлении внутренних дефектов роторов на первых операциях после заливки приостановится дальнейшая их обработка, что позволит сэкономить человеческий труд и не занимать оборудование под производство непригодного двигателя. Экономия от сокращения брака на заводах-изготовителях представлена данными табл. 3. Она составляет примерно 477,6 тыс. руб. в год.

Таблица 3

Типы электродвигателей	Общий выпуск электродвигателей 2÷9 габарита тыс. руб.	Количество забракованных роторов, подлежащих исправлению из расчета 4% от выпуска	Расчетные затраты на перезаливку одного ротора (27% стоимости ротора), руб.	Затраты на исправление брака залитых роторов тыс. руб.	Общие убытки от брака (см. табл. 1, 2), тыс. руб.	Общая сумма экономии после учета затрат на перезаливку роторов, тыс. руб.
АО2-2÷9 6 габар. 2 длина	2640	105,6	1 руб. 76 коп.	185,8	688,8	503,0
АО2-2÷9 6 габар. 1 длина	2670	106,8	1 руб. 51 коп.	167,7	619,8	452,2

Средняя величина экономии $\frac{1}{2} (503,0 + 452,2) = 477,6$ тыс. руб.

Хорошо известные методы разбраковки роторов, например, метод трех амперметров, метод измерения скольжения при номинальной нагрузке электродвигателей, сравнение механических характеристик двигателей, измерение отклонений токов короткого замыкания (метод ПЗР) и другие, не позволяют обнаруживать в залитых роторах все дефекты и могут пропускать двигатели недоброкачественные, с наличием в беличьей клетке обрывов одного, двух и даже трех стержней [6, 7, 8].

Естественно, электродвигатели с внутренними дефектами беличьей клетки ротора при эксплуатации являются ненадежными и быстро выходят из строя. Проведенными исследованиями в 1961 году [2, 6] и на основании математической статистики установлено, что на заводах-потребителях по причинам ротора ежегодно выходит преждевременно из строя $1,4 \div 2\%$ электродвигателей от их общего количества, находящегося в эксплуатации. Примерно такой же процент и даже больше дефектов роторов не обнаруживается на заводах-изготовителях применяемыми методами контроля. Очевидно, что совпадение это не случайно. В литературе имеются сведения [8], что в роторе с поврежденными стержнями нарушается токораспределение, приводящее к асимметрии вторичных токов, вызывающее при нагруженном двигателе каскадный процесс разрушения беличьей клетки.

На производство капитальных ремонтов преждевременно вышедших из строя электродвигателей приходится делать дополнительные затраты. Они значительно превышают потери от брака на заводах-изготовителях.

Если принять, что из выпущенных в 1967 году 2640 тысяч электродвигателей 2÷9 габаритов преждевременно вышло из строя по причинам дефектов ротора $1,4\%$, то нетрудно будет найти количество двигателей, которые потребителям пришлось ремонтировать, устраняя брак изготовителей:

$$2640 \cdot 0,014 = 3696 \text{ шт.}$$

Годовые затраты на проведение капитальных ремонтов в расчете на один двигатель, как средний представитель мощностью $(3,1 \div 5)$ квт, составили [4]:

заработная плата — $15 \text{ норм. час.} \cdot 1,6 \text{ ед. рем. сложн.} \cdot 0,443 \text{ руб/час.} = 10,63 \text{ руб.,}$

материалы — $110\% \text{ к основной зарплате рабочих} = 11,69 \text{ руб.,}$

цеховые расходы — 150% к основной зарплате = 15,94 руб.

Итого — 38,26 руб.

Общая сумма вынужденных годовых затрат на проведение капитальных ремонтов электродвигателей, преждевременно выходящих из строя по причинам дефектов роторов будет составлять:

$$38,26 \cdot 3696 = 1414 \text{ тыс. руб.}$$

Эта сумма еще более возрастет, если прибавить к ней затраты на демонтаж вышедших из строя двигателей и установку новых, если учесть убытки от простоев технологического оборудования на этот период и т. д.

Итак, суммарные потери от дефектов роторов 3-фазных короткозамкнутых асинхронных электродвигателей по вине электромашиностроительных предприятий (по вине пока вынужденной и объяснимой) в 1967 году для двигателей 2÷9 габаритов составили:

$$1414 \text{ тыс. руб.} + 477,6 \text{ тыс. руб.} = 1891,6 \text{ тыс. руб.}$$

Расчеты показали, что в 1970 году эти потери могут превысить 2,45 млн. рублей в год. Как видно, не существующая проблема роторов выливается в ощутимые убытки для государства.

Следует отметить, что приведенные цифры денежных потерь от дефектов роторов асинхронных двигателей намного занижены, так как проценты по браку взяты только по данным испытаний двигателей 2÷9 габаритов общепромышленного исполнения. Для спецмашин, шахтных электродвигателей, двигателей, применяемых на химических предприятиях, и т. д. предъявляются повышенные требования, и процент брака по причинам ротора значительно выше. Например, если в системах электроприводов станков, работающих в не тяжелых режимах, можно допустить обрывы одного-двух стержней роторной клетки, то при работе двигателей во взрывоопасной среде к катастрофе могут привести даже раковины или утоньшения стержней. Никакие дефекты роторной клетки нежелательны у двигателей, к которым предъявляются повышенные требования по вибрации.

Нами не приведены также потери от дефектов роторов у двигателей 10÷11 габаритов. Известно, что при изготовлении роторной клетки этих машин брак наиболее вероятен, а несвоевременное его обнаружение приводит к ощутимым материальным потерям. Например, если дефект клетки ротора одного двигателя 11 габарита обнаружен после сборки машины, то убыток составит (230÷250) руб.

В Томском политехническом институте разработан прибор, который обнаруживает практически все основные литейные дефекты роторной клетки 3-фазных асинхронных короткозамкнутых электродвигателей, выпускаемых отечественной промышленностью, причем дефекты обнаруживаются непосредственно после отливки клетки, то есть до механической обработки бочки ротора. Такой роторный дефектоскоп под названием РДС-Т уже прошел успешные испытания на 6 электромашиностроительных предприятиях СССР.

При испытаниях дефектоскопов проверялись роторы двигателей 2÷11 габаритов почти всех типоразмеров. При этом установлено, что установки позволяли надежно обнаруживать дефекты беличьей клетки, приводящие к изменению активного сопротивления одного стержня на 15% и выше, включая обрывы, трещины, утоньшения, раковины и т. д. [9]. Дефектоскопы РДС-Т оказались простыми по устройству и исполнению, очень надежными в эксплуатации. Их можно устанавливать в любом производственном помещении, встраивать в конвейерные и автоматические линии. Средняя производительность РДС-Т не ниже 50 роторов в час. Стоимость одного дефектоскопа при штучном изготовлении в условиях заводских электромастерских составляет 560÷700 рублей.

Предприятия, принявшие в эксплуатацию роторные дефектоскопы РДС-Т, дали этим установкам высокую оценку. Такой оценке способствовало и то обстоятельство, что дефектоскопы сразу же обеспечили заводам немалую экономию. Например, завод им. Владимира Ильича в г. Москве

получает от дефектоскопии роторов на РДС-Т годовую экономию (48÷52) тыс. рублей.

Очевидно, что установки для проверки параметров беличьей клетки трехфазных асинхронных двигателей до механической обработки бочки ротора должны заинтересовать все электромашиностроительные, а возможно и ремонтные, предприятия нашей страны. Главку электромашиностроения в свою очередь следует обсудить вопрос о выпуске большой партии этих дефектоскопов, чтобы удовлетворить многочисленные заказы своих заводов на изготовление РДС-Т, поступающие в Томский политехнический институт, который, естественно, не может их выполнить, являясь просто учебным вузом.

Итак, даже немногочисленные примеры и ориентировочные расчеты вскрывают существенные убытки, приносимые несовершенными способами обнаружения дефектов роторов, убытки, исчисляемые миллионами рублей. Естественно, что такое положение является недопустимым, когда имеются принципиальные возможности практически исключить брак в роторах выпускаемых двигателей, причем исключить на первых операциях изготовления ротора, получив большой технико-экономический эффект. Возможно, эту задачу удастся быстро разрешить путем широкого внедрения дефектоскопов РДС-Т. Но так или иначе руководители предприятий, выпускающих электродвигатели, инженеры-новаторы и исследователи в ближайшее время должны решить эту задачу положительно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. И. Кузнецов. Выпуск электродвигателей мощностью до 100 вт. Электротехническая промышленность СССР. Юбилейный сборник, 1967.
2. Н. А. Тищенко. Проблема надежности электродвигателей. «Электричество», № 11, 12, 1961.
3. Прейскурант оптовых цен на электрические двигатели № 1501. Москва, 1967.
4. Единая система плановопредупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. «Машиностроение», 1967.
5. Типовая методика определения экономической эффективности внедрения новой техники, механизации и автоматизации производственных процессов в промышленности. Издательство АН СССР, 1963.
6. А. А. Сапрыкин. Дефекты роторных стержней. Горная электромеханика. Сборник Дон. УГИ. № 19, 1961.
7. А. А. Тайц. Состояние и опыт ремонта электрооборудования на промышленных предприятиях. Сборник. Вопросы надежности и ремонта электрических машин. № 2. Москва, 1961.
8. В. Н. Череватов. Причины поломок стержней ротора асинхронных двигателей АН СССР. Сборник работ по вопросам электромеханики. Выпуск 8. 1963.
9. В. П. Обрусник, А. И. Зайцев, Э. Г. Завацкий. Разработка и исследование роторного дефектоскопа типа РДС-Т (научно-технический отчет НИИ АЭМ. Томск, 1969).